



Ingenieurbüro  
Schellingstraße 4/2  
D-72072 Tübingen  
Telefon 0 70 71 93 94 0  
Telefax 0 70 71 93 94 99  
[mail@eboek.de](mailto:mail@eboek.de)  
[www.eboek.de](http://www.eboek.de)

# Energiekonzept

Carlo-Mierendorff-Schule

Frankfurt am Main

Stand:	Dezember 2008
im Auftrag von:	Energiemanagement im Hochbauamt der Stadt Frankfurt
Projektleitung:	Dipl.-Phys. Thomas Kirtschig
Inhaltliche Bearbeitung:	Dipl.-Phys. Thomas Kirtschig, Dipl.-Ing. Gernot Brose, Dipl.-Phys. Rosemarie Hellmann



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Ergebnisse und Empfehlungen</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Grundlagen des Konzepts</b> .....	<b>3</b>
3.1 Beschreibung des Gebäudebestands .....	3
3.1.1 Gebäudehülle .....	4
3.1.2 Wärmeversorgung .....	5
3.1.3 Lüftung .....	7
3.2 Gebäudebilanzierung und Abgleich .....	7
<b>4 Sanierungskonzepte Hauptgebäude und Heizzentrale</b> .....	<b>9</b>
4.1 Wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich verschiedener Varianten .....	9
4.1.1 Bauliche Randbedingungen .....	10
4.1.2 Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	11
4.2 Übersicht Investitionskosten .....	12
4.2.1 Ökologische Randbedingungen .....	14
4.2.2 Ergebnisse .....	15
4.3 Wärmebrückenoptimierungen .....	18
4.3.1 Variantenberechnungen und Ergebnisse .....	20
4.4 Heizungsanlage .....	21
4.5 Warmwasserbereitung .....	22
4.6 Lüftungskonzept .....	23
4.6.1 Allgemeines .....	23
4.6.2 Luftmengen .....	24
4.6.3 Schallschutz .....	24
4.6.4 Anlagen .....	25
4.7 Sommerlicher Wärmeschutz .....	25

4.8 Tabellarische Übersicht der vorgeschlagenen energetischen Maßnahmen .....	27
<b>5 Einsparpotential der übrigen Gebäude.....</b>	<b>29</b>
<b>6 Literatur .....</b>	<b>32</b>
<b>7 Anhang.....</b>	<b>34</b>
7.1 Abschätzung der Pellets-Lagerraumgröße .....	34
7.2 Drucktestergebnisse.....	34
7.3 Thermografiebericht .....	
7.4 Aufstellungsvorschläge für die Lüftungsgeräte .....	
7.5 Berechnungsblätter für U-Werte.....	
7.6 Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf aller Varianten und Gebäudeteile .....	
7.7 Merkblatt zu Lüftung in Schulen .....	
7.8 Prüfbericht über Fassaden-Halteanker .....	

# 1 Aufgabenstellung

Für die Carlo-Mierendorff-Schule in Frankfurt am Main soll ein Energiekonzept für das Hautschulgebäude mit Verwaltungstrakt (Bauteile A, B und a-d) erstellt werden. Ziel der Untersuchung ist:

- die Entwicklung eines abgestimmten Wärmeschutzkonzeptes mit einer Optimierung des baulichen Wärmeschutzes mit Hilfe passivhaustauglicher Komponenten, wenn möglich im Passivhausstandard.
- die Untersuchung des Einsatzes passivhaustauglicher Lüftungssysteme zur Verbesserung des Raumklimas und Energieeinsparung
- eine Konzeption für die Erneuerung der bestehenden Heizungsanlage.

Zusätzlich wurde das Einsparpotential bei Sanierung oder Neubau der übrigen Gebäudeteile abgeschätzt. Dies hätte Auswirkung auf die zu sanierende Heizungsanlage.

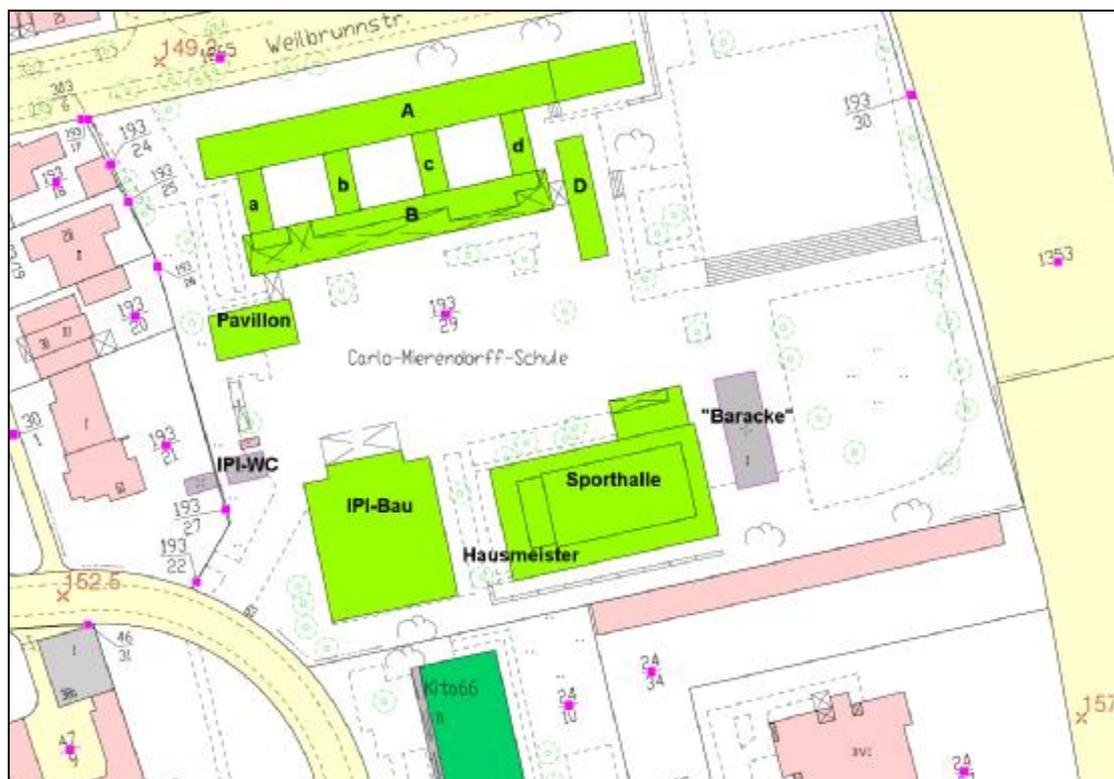


Abb. 1: Lageplan und Bauteilbezeichnung

## 2 Ergebnisse und Empfehlungen

Der Heizwärmebedarf liegt bei Sanierung mit Passivhauskomponenten mit ca. 45 kWh/m<sup>2</sup>a (nach LEG) noch deutlich über dem Passivhausstandard (15 kWh/m<sup>2</sup>a). Die wesentlichen Ursachen hierfür sind hohe verbleibende Wärmeverluste im Bodenbereich (knapp 30 kWh/m<sup>2</sup>a Heizwärme) und die Gebäudeausrichtung mit großem Fensterflächenanteil nach Norden und einer relativ starken Eigenverschattung im Bereich der Innenhöfe mit großen Fensterflächenanteilen. Eine weitere Reduktion des Heizwärmebedarfs wäre durch eine umlaufende Perimeterdämmung zwar möglich. Diese wäre aber nur dann wirtschaftlich, wenn die Perimeterdämmung in Zusammenhang mit anderen, sowieso notwendigen Abgrabungsarbeiten bis zu den Fundamenten ausgeführt werden könnte.

Die zum Vergleich herangezogene Wärmeschutzvariante nach dem EnEV-Bauteilverfahren abzüglich 30% ist wärmetechnisch bereits relativ gut. Eine Sanierung mit Passivhauskomponenten (d.h. incl. Lüftungsanlage) ist gegenüber dieser Variante erst bei einer Energiepreissteigerung über 9% günstiger. Wird auch in der EnEV-30%-Variante eine Lüftungsanlage eingebaut, ist sie bei 5% Energiepreissteigerung etwa gleich teuer wie die Sanierung mit Passivhauskomponenten. Bei einer höheren Energiepreissteigerung schneidet die Sanierung mit Passivhauskomponenten wirtschaftlich am günstigsten ab.

Die Gesamtkostenbetrachtung ergibt, dass bei den derzeitigen Brennstoffpreisen eine Wärmeversorgung mit Holzpellets gegenüber Gas und gegenüber der BHKW-Lösung am kostengünstigsten ist. Gleichzeitig schneidet diese Wärmeversorgungsvariante auch ökologisch gesehen am besten ab.

Die übrigen Gebäude haben abgesehen von dem IPI-Bau einen noch höheren flächenspezifischen Wärmebedarf als das Schulhauptgebäude. Eine Sanierung dieser Gebäude in gleicher Weise ergibt in der Summe fast nochmals das gleiche Energieeinsparpotential wie das Hauptgebäude. Die jährlichen Kosteneinsparpotentiale durch verbesserten Wärmeschutz werden in diesem Bericht für die aktuellen Energiepreisen angegeben .

Je nach dem, wann die übrigen Gebäude saniert / erneuert werden, ist es sinnvoll neben der neuen Heizungsanlage die Spitzenlasten durch einen neuen oder durch einen der bestehenden Gaskessel abzudecken.

Eine Sanierung mit Passivhauskomponenten dort, wo dies möglich ist, in Verbindung mit einer Wärmeversorgung vorwiegend mit Holzpellets ist insgesamt eine sehr kostengünstige Lösung, ökologisch die sinnvollste Lösung und bezüglich Luftqualität und thermischer Behaglichkeit die beste Lösung. Es muss auf eine weitgehende Reduktion von Wärmebrücken und auf eine gute Luftdichtigkeit geachtet werden.

## 3 Grundlagen des Konzepts

Erster Besprechungstermin vor Ort am 18.01.2008 mit:

Frau Wagenhoff (Direktorin der Carlo-Mierendorff-Schule, zeitweise),  
Herr Güth (Braun & Güth, Architekten),  
Herr Bruns (Hochbauamt Stadt Frankfurt),  
Herr Traut (Vertretung des Schulverwalters der Carlo-Mierendorff-Schule)  
Herr Kirtschig (Ingenieurbüro ebök)  
Frau Hellmann (Ingenieurbüro ebök).

Zweite Ortstermin am 15.2.2008 mit:

Herr Güth (Braun & Güth, Architekten),  
Herr Brose (Ingenieurbüro ebök),  
Herr Kirtschig (Ingenieurbüro ebök),  
2 Mitarbeiter einer Dachdeckerfirma.

Beim zweiten Ortstermin wurden die restlichen Gebäude begangen, die Dächer der Bauteile A, B und a-d stichprobenhaft geöffnet, eine Thermographieaufnahme des Hauptgebäudes durchgeführt und die Luftdichtigkeit eines Klassenzimmers geprüft.

Bestandspläne, Revisionspläne sowie Unterlagen zum Wärmeverbrauch der letzten 7 Jahre und Liegenschaftsformulare wurden vom Hochbauamt der Stadt Frankfurt zur Verfügung gestellt, Pläne mit Ortsabgleich durch das Architekturbüro Braun & Güth.

### 3.1 Beschreibung des Gebäudebestands

Der Gebäudekomplex gliedert sich in

- das Schulgebäude (Bauteil A, 1964) mit einer Erweiterung (naturwissenschaftliche Räume 1968),
- den Verwaltungsteil (Bauteil B, 1964) mit den Verbindungsfluren a-d zu Bauteil A
- das WC-Gebäude (1964),
- den Singsaal (1964) ,
- die Sporthalle mit angebauter Hausmeisterwohnung (1964),
- ein weiteres Schulgebäude (IPI-Bau von 1972) mit WC-Gebäude
- einen Pavillon (Schüler-Treff und Schulsozialarbeit; auch „Baracke“ genannt)

mit folgenden Nettogrundflächen:

Schulgebäude (Bauteile A, B a-d)	2.600 m <sup>2</sup>
Singsaal	119 m <sup>2</sup>
WC-Gebäude	107 m <sup>2</sup>

Schülertreff	133 m <sup>2</sup>
IPI-Bau mit WC-Gebäude	1.326 m <sup>2</sup>
Sporthalle	672 m <sup>2</sup>
Hausmeisterwohnung	96 m <sup>2</sup>
<b>Summe</b>	<b>5.056 m<sup>2</sup></b>

### 3.1.1 Gebäudehülle

Für die zu sanierenden Bauteile A, B und a-d wurden die folgende Bauteile aufgenommen.

Tabelle 3.1: U-Werte relevanter Bauteile für den Bestand (Schulgebäude)

	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	g- Wert
Außenwand Bauteile A und E: 24 und 30 cm Mauerwerk mit ca. 5 cm Mineralfaserdämmung und hinterlüfteter Fassade (Keramikkacheln) Außenwand Bauteil B: Mauerwerk oder Beton, ca. 3 cm Mineralfaserdämmung, vorgehängtes Betonelement mit Keramikkacheln	0,659 (Mittelwert)	./.
Außenwände Treppenhäuser und Bauteil B Flur: 24 und 30 cm Mauerwerk oder Beton, ungedämmt, mit Keramikkacheln	3,295 3,159	./.
Außenwände gegen Erdreich: Beton ungedämmt	3,840	./.
Dach Bauteil A: Betonrippendecke, 12 bis 15 cm Foamglass	0,368 (Mittelwert)	./.
Dach Bauteil B: Betonrippendecke, 12 cm (Mitte) bis 15 cm (Randbereich) Foamglass	0,320 (Mittelwert)	./.
Dach Bauteil E: Betonrippendecke, 10 cm Foamglass	0,435	./.
Dach Treppenhäuser: 16 cm Betondecke, 15 cm Foamglass	0,303	./.
Decke gegen Außenluft (Verwaltung): 15 bis 20 cm Beton, ca 3 cm Mineralfaserdämmung, Luftschicht, Beton-Unterdecke	0,694	./.
Fußboden gegen Erdreich: Betonbodenplatte mit 1,5 cm Trittschalldämmung	1,793	./.
Fußboden gegen Keller: Betonbodenplatte mit 1,5 cm Trittschalldämmung	1,311	./.
Fensterpaneele	1,8	./.
Fenster: Isolierglasfenster mit Kunststoffrahmen, Dichtungen	2,6	0,75
Fenster: Isolierglasfenster mit Kunststoffrahmen und Dichtungen, Flies (Blendschutz) im Scheibenzwischenraum	2,6	0,45
Glasbausteine	3,5	0,60
Lichtkuppeln (zweischalig)	3,1	0,60

Die Keramikkacheln an den Fassaden von Bauteil A sind teilweise abgefallen. Zwischen den Dämmplatten im Dach von Bauteil A steht teilweise Wasser ca. 6 cm hoch.

Die U-Werte der übrigen Gebäudeteile wurden nach den uns vorgelegten Planunterlagen und den vor Ort vorgefundenen Aufbauten ermittelt. Sie weichen teilweise erheblich von den Angaben in den Liegenschaftsformularen ab!

### **3.1.2 Wärmeversorgung**

#### **Wärmeerzeugung**

In der Kesselzentrale, befinden sich 3 Kessel Fabr. Buderus, Typ Omnical, Baujahr 1980, je mit einer zulässigen Wärmeleistung von 290 kW. Die Kessel sind mit Gasbrennern Fabr. Weishaupt, Typ DK 07-2/1 ausgestattet.

Die Kessel laufen mit Konstanttemperatur, wobei Stufe 1 auf etwa 82°C, Stufe 2 etwa ca. 75 °C eingestellt ist. Zum Zeitpunkt der Begehung war nur Kessel 2 in Betrieb. Die Thermometer zeigten an allen Kesseln im Vorlauf 80°C, im Rücklauf ca. 72°C. Dies lässt vermuten, dass alle Kessel durchströmt werden.

Bauartbedingt weisen die Kessel hohe Wärmeverluste auf, Die Oberflächentemperatur der Frontplatten lag bei etwa 72°C.

#### **Wärmeverteilung**

Am Verteiler befinden sich 6 gemischte und 4 ungemischte Gruppen. Diese sind im einzelnen:

gemischte Gruppen:

- Verwaltung, Bibliothek
- Flure, Toiletten, Treppenhäuser, Garderoben
- Sonderklassen Süd
- Sonderklassen Nord
- Normalklassen Süd, Treppe
- Normalklassen Nord, Erweiterung

Auf dem Verteiler der gemischten Gruppen ist eine zusätzliche ungemischte Gruppe mit eigener Pumpe für die Lüftung Naturwissenschaften vorhanden.

ungemischte Gruppen:

Für die ungemischten Gruppen ist eine gemeinsame Doppelpumpe installiert.

- Warmwasserbereitung
- Singsaal
- Turnhalle (mit zusätzlicher Pumpe?)
- Lüftung Physiksaal

Der Verzug der Hauptverteilungen erfolgt unter der Decke UG und wird in den Installationsgängen fortgeführt. Die Leitungen im Installationsgang Richtung West sind streckenweise angerostet, was auf eine feuchte Dämmung schließen lässt. Nach dem Zustand der Wänden und Decken ist vermutlich von außen eindringende Feuchtigkeit Ursache für die Leitungskorrosion. Ein Ersatz der Leitungen aus korrosionsbeständigem Material ist hier empfehlenswert.

Einige Armaturen, insbesondere 3-Wege-Ventile, Kappenventil oder Schmutzfänger sind teilweise ungedämmt. Die Dämmstärken der Heizungsverteilung entsprechen teilweise nicht den heutigen Anforderungen ENEC und sind abschnittsweise beschädigt.

### **Warmwasser**

Im Heizraum befinden sich zwei Warmwasserspeicher Fabr. Buderus, Typ TBS SEH mit je 600 Litern. Die Beladung erfolgt über die o.g. ungemischte Gruppe und wird über Dreiwegeventile geregelt.

Die vorhandene Pumpe Grundfos Magna UPE 32-120/SB fungiert als Zirkulationspumpe, um die hygienische Mindestdurchströmung sicherzustellen.

Aus diesen Speichern wird im wesentlichen die Sporthalle versorgt. Die Lehrküche besitzt 4-5 elektrische Warmwasserbereiter für die Küchenzeilen.

### **Regelung**

Für die Regelung der Gruppen und für die Kesselfolgerregelung sind verschiedene Regler mit Schaltschränken vorhanden (Fabr. Samson, Fabr. Honeywell). Eine Dokumentation der Einstellwerte liegt nicht vor.

Eine Temperaturregelung ist in den Räumen selbst nicht möglich, da meist keine Thermostatventile vorhanden oder diese defekt sind. Die Temperaturregulierung erfolgt durch Fensteröffnung.

Nach den Wochenprofilen für den Wärmeverbrauch unterscheiden sich die Samstage und Sonntage nur wenig von den übrigen Werktagen. Die könnte darauf

hindeuten, dass keine Wochenendabsenkung für die Heizung vorhanden ist. Der „Sockelbedarf“ für Wärme ist auch im Sommer relativ groß.

### **3.1.3 Lüftung**

Mit Ausnahme im Chemiebereich sind im Schulgebäude keine Lüftungsanlagen installiert. Die Lüftung erfolgt über Fenster. Auffällig war die schlechte Luftqualität in den Klassenzimmern (Begehung: Klassenzimmer Nord C 15).

Für den Chemieraum, das Digestorium und die Chemieschränke existiert jeweils ein Abluftventilator auf dem Dach.

Die Sporthalle wird über eine Zu-Abluftanlage (ohne WRG) beheizt und gelüftet.

## **3.2 Gebäudebilanzierung und Abgleich**

Im Rahmen des Energiekonzepts wird der Endenergiebedarf der verschiedenen Gebäudeteile im Bestand nach dem Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung (LEG) ermittelt. Als Rechenwerkzeug verwenden wir EnEV-XL 3.0 (IWU, Darmstadt).

Der Warmwasserbedarf wird aufgrund der objektspezifischen Nutzung abgeschätzt (elektrische Warmwasserbereitung, Schulküche, Sporthalle mit Vereinsnutzung).

Der Endenergiebedarf Heizung und WW ergibt sich aus der Nutzenergie zuzüglich den Anlagenverlusten sowie den Verteilverlusten des Nahwärmenetzes.

Die flächenspezifischen Werte beziehen sich auf die von uns ermittelten Nettogrundflächen (Energiebezugsflächen) der Gebäudeteile.

Die Energiebedarfswerte (Rechenwerte) werden mit den vorhandenen Verbrauchsmessungen der letzten Jahre (witterungsbereinigt) abgeglichen.

Die Verbrauchswerte wurden anhand der Daten des Hochbauamtes Abteilung Energiemanagement (Mittelwert aus den Jahren 1999 bis 2005 inkl. Warmwasser, witterungsbereinigt, Bezug auf  $H_u$ ) ermittelt. Danach ergibt sich ein mittlerer Gasverbrauch von ca. 1.455 MWh/a.

Tabelle 3.2: Kennwerte Wärme für die Carlo-Mierendorff-Schule

	Endenergie- kennwert Wärme	Endenergie Wärme
	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[MWh]
Summe		
Schulgebäude (Bauteile A, B, a-d)	259	675
Singhalle, WC alt, Pavillon	374	134
Hausmeister-Wohnhaus (incl. WW)	538	52
Sporthalle (incl. WW)	532	358
IPI-Bau, WC IPI-Bau,	117	155
Wärmeverteiler-verluste Nahwärmenetz		25
<b>Summe EE-Bedarf:</b>	<b>277</b>	<b>1.399</b>
<b>Mittlerer Gasverbrauch</b>	<b>288</b>	<b>1.455</b>

Die Abweichung zwischen Gasverbrauch und Endenergiebedarf Wärme beträgt ca. 4%.

An den vorliegenden Wochenprofilen für Wärme- und Stromverbrauch fällt auf, dass die Verbräuche an den Wochenenden nur sehr geringfügig zurückgehen! Dies ist erstaunlich, weil außerhalb der Nutzungszeiten angeblich eine Temperaturabsenkung stattfindet und der Strombedarf für Beleuchtung und Arbeitshilfen eigentlich an den Wochenenden niedriger sein müsste.

Die hohen Wärmebedarfskennwerte vor allem für die Sporthalle mit Hausmeisterwohnung aber auch für den Singsaal und das WC-Gebäude beim Hauptgebäude deuten ebenso auf einen Sanierungsbedarf dieser Gebäude hin. Es handelt sich um Gebäude des selben Baualters wie das Schulgebäude, jedoch mit teilweise energetisch noch schlechteren Bauteilen. Eine Abschätzung der Einsparpotential bei der Sanierung dieser Bauteil befindet sich weiter unten.

## 4 Sanierungskonzepte Hauptgebäude und Heizzentrale

### 4.1 Wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich verschiedener Varianten

Für die verschiedenen Haustechnik- und Gebäudevarianten berechnen wir mit Hilfe des LEG-Verfahrens die Energieeinsparmöglichkeiten. Die Ergebnisse werden bezüglich Ökologie und Wirtschaftlichkeit in Anlehnung an VDI 2067 / Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung gegenübergestellt.

Es wurden verschiedene energetische Konzepte zur Sanierung des Hauptschulgebäudes (Bauteil A, B und a-d) und zur Sanierung der Haustechnikanlage untersucht. Das energetische und wirtschaftliche Potential bei Sanierung oder Erneuerung der übrigen Gebäudeteile wurde abgeschätzt.

Nach den Leitlinien des Hochbauamts der Stadt Frankfurt wird eine Sanierung mit Passivhauskomponenten und bei Neubauten der Passivhausstandard angestrebt.

Folgende Varianten wurden untersucht:

Variante 1	Bestand mit neuer Gas-Brennwertkesselanlage
Variante 2	EnEV Bauteilanforderungen-30% mit Gaskessel
Variante 3	Sanierung mit Passivhaus-Komponenten, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Gas-Brennwert
Variante 4	Sanierung mit Passivhaus-Komponenten, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Holzpelletanlage
Variante 5	Sanierung mit Passivhaus-Komponenten, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, BHKW
Variante 6	EnEV Bauteilanforderungen-30%, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Pelletkessel

Bei allen Varianten bleibt der Standort der Heizzentrale unverändert.

Zusätzlich wurden die energetischen Auswirkungen der Wärmebrückenwirkung verschiedener Unterkonstruktionen für die vorgesehene Keramik-Vorhangfassade und die Wärmebrückenwirkung am Außenwandssockel untersucht.

## 4.1.1 Bauliche Randbedingungen

U-Werte bei Sanierung mit Passivhauskomponenten:

Tabelle 4.1: U-Werte relevanter Bauteile des Hauptgebäudes bei Sanierung mit Passivhauskomponenten

	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	g- Wert
Außenwand Bauteile A, B und E bzw. Treppenhäuser : 28 cm Mineralfaserdämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK) und hinterlüfteter Fassade (Keramik- kacheln) mit wärmebrückenreduzierter Unterkonstruktion	0,155	./.
Außenwände Treppenhäuser und Bauteil B (je: Hofseite): 28 cm Wärmedämmverbundsystem der Wärmeleit- fähigkeit 0,035 W/(mK)	0,120 und 0,113	./.
Außenwände gegen Erdreich: Beton ungedämmt	3,840	./.
Dach Bauteile A und B : Erhöhung der Wärmedämmung auf 30 cm durch Wärmedämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK)	0,125 bis 0,128	./.
Dach Bauteil E: : 20 cm Wärmedämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK)	0,123	./.
Dach Treppenhäuser: 20 cm Wärmedämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK)	0,111	./.
Decke gegen Außenluft (Verwaltung): 30 cm Wärmedämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,040 W/(mK)	0,123	./.
Fußboden gegen Erdreich: Flankendämmung	1,793	./.
Fußboden gegen Keller: Perimeterdämmung	1,311	./.
Fenster: Dreifachwärmeschutzverglasung	0,8	0,50
Glasbausteine: Austausch gegen Dreifachwärmeschutzverglasung	0,8	0,50
Lichtkuppeln: Austausch gegen dreischalige Lichtkuppeln	1,0	0,50

U-Werte bei Sanierung nach EnEV-Bauteilverfahren –30%:

Tabelle 4.2: U-Werte relevanter Bauteile bei Sanierung nach EnEV-Bauteilverfahren – 30% (2004 und 2007)

	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	g- Wert
Außenwände	0,245	./.
Dächer	0,175	./.
Fenster (3-fach-WSV)	1,19	0,50

## 4.1.2 Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### Investitionskosten

Für die baulichen Mehrkosten für die Sanierung der Gebäudehülle mit Passivhauskomponenten liegen die Vollkostenangaben des Architekturbüros Braun & Güth zugrunde. Für die Vergleichsvariante EnEV –30% wurden die Minderkosten entsprechend der geringeren Dämmstoffdicken / schlechteren Fensterqualitäten mit folgenden Kostenansätzen nach Abstimmung mit dem Auftraggeber reduziert (brutto):

- Außenwanddämmung WDVS: -1,8 EUR / (m<sup>2</sup>\*cm)
- Außenwanddämmung Vorhangfassade: -10% gegenüber der Passivhaus-Ausführung
- Dachdämmung: -1,5 EUR / (m<sup>2</sup>\*cm)
- Fenster (3-fach-WSV; keine Passivhausrahmen): -45 EUR /m<sup>2</sup>

Die Investitionskosten der Haustechnikvarianten basieren auf Erfahrungswerten des Ingenieurbüros ebök aus ausgeführten Projekten bzw. Richtpreisangeboten. Für die technischen Komponenten wurden Re-Investitionen berücksichtigt.

Für die (unsanierte) Bestandvariante wurden nach Absprache mit dem HBA ausschließlich die Investitionen in eine neue Heizzentrale berücksichtigt. Dies ist zwar in Anbetracht der zwingend notwendigen Sanierungsarbeiten an der Fassade und am Dach unrealistisch. Trotzdem schneidet dies Variante wegen der sehr hohen Energiekosten nicht am günstigsten ab.

Eine Zusammenstellung der Investitionskosten der verschiedenen Varianten findet sich im Anhang.

Für eine Lagerung von Pellets steht im Untergeschoss nach Auskunft von Hr. Seyfried ein freier Raum (ehemaliger Tankraum zwischen Gas- und Elektroraum) mit ca. 120 m<sup>2</sup> Fläche und 240 m<sup>3</sup> Rauminhalt zu Verfügung. Eine Abschätzung der erforderlichen Lagerraumgröße für den Jahresbedarf verschiedener Sanierungsvarianten liegt im Anhang bei. Je nach Sanierungsstand der verschiedenen Gebäudeteile müsste der Lagerraum ca. 1-2 mal pro Jahr gefüllt werden.

Es muss geprüft werden, ob zusätzliche Kosten z.B. für Feuchteschutz, Brandschutz und Beladevorrichtung für eine Pelletlagerung berücksichtigt werden müssen.

### Kosten für Wartung und Instandhaltung

Der Aufwand für Wartung und Instandhaltung wurde nach VDE 2067 und aus abgerechneten Projekten abgeschätzt.

## 4.2 Übersicht Investitionskosten

Investitionen für unterschiedliche Haustechnikkonzepte und Wärmedämmstandards  
Sanierung Heizungszentrale und Gebäudesanierung für die Bauteile A, B und a-d

Carlo-Mierendorff-Schule, Frankfurt-Preungesheim

Betrachtungszeitraum: weitere 20 Jahre = 40 Jahre / Nutzungsdauer haustechnische Anlagen 20 Jahre

Komponente	Variante 1 Bestand saniert, Gas	Variante 2 EnEV Bauteil -30%, Gas	Variante 3 EnEV Bauteil -30%, Pellets	Variante 4 PH-Komp., Gas	Variante 5 PH-Komp., Pellet	Variante 6 PH-Komp., BHKW+Gas	Variante 7 EnEV Bauteil -30%, Pellets+WRG
<i>Heizung</i>							
Gas-Kessel 670 KW <sup>1</sup>	35.750 EUR						
Gas-Kessel 500 KW <sup>0</sup>		31.625 EUR					
Gas-Kessel 400 KW <sup>1</sup>				27.500 EUR			
Gas-Kessel 350 KW <sup>1</sup>						25.300 EUR	
Pellet-Kessel 400 KW <sup>1</sup>					49.500 EUR		
Pellet-Kessel 600 KW <sup>2</sup>			56.925 EUR				56.925 EUR
BHKW 40-50kW <sub>th</sub> / 13-17kW <sub>el</sub>						50.000 EUR	
Kamin	6.000 EUR	6.000 EUR	7.000 EUR	6.000 EUR	7.000 EUR	6.000 EUR	7.000 EUR
Hydraulische Einbindung	10.000 EUR	10.000 EUR	10.000 EUR	10.000 EUR	10.000 EUR	10.000 EUR	10.000 EUR
Zubehör <sup>1</sup>	3.300 EUR	3.300 EUR	13.200 EUR	3.300 EUR	13.200 EUR	3.300 EUR	13.200 EUR
Pufferspeicher			7.000 EUR		7.000 EUR	5.000 EUR	7.000 EUR
Heizkörper <sup>2</sup>	182.000 EUR	85.500 EUR	85.500 EUR	50.000 EUR	50.000 EUR	50.000 EUR	85.500 EUR
HK-Leitungen							
<i>Lüftung</i>							
Zu/Abluftanlage mit 80% WRG				265.000 EUR	265.000 EUR	265.000 EUR	265.000 EUR
Reinvestition Zentralgerät							
<i>Mehrkosten Gebäudehülle</i>							
Vollkosten KG 100-600 v. 22.1.2008		2.286.835 EUR	2.286.835 EUR	2.286.835 EUR	2.286.835 EUR	2.286.835 EUR	2.286.835 EUR
Zusatzdachdämmung: 11cm (statt 18,5cm)		-13.897 EUR	-13.897 EUR				-13.897 EUR
WDVS 14cm (statt 30cm)		-25.170 EUR	-25.170 EUR				-25.170 EUR
Keramikfassade 17cm, Edelstahl (statt 28cm)		-35.500 EUR	-35.500 EUR				-35.500 EUR
Fenster Uw=1,2 (3-WSV) (statt PH-Fen.)		-54.000 EUR	-54.000 EUR				-54.000 EUR
Summe Investitionen, netto:	237.050 EUR	2.294.693 EUR	2.337.893 EUR	2.648.635 EUR	2.688.535 EUR	2.701.435 EUR	2.602.893 EUR
Summe Investitionen mit 19% MwSt:	282.090 EUR	2.730.685 EUR	2.782.093 EUR	3.151.876 EUR	3.199.357 EUR	3.214.708 EUR	3.097.443 EUR
<i>Reinvestitionen nach 20 Jahren</i>							
Kessel mit Zubehör und Einbindung	49.050 EUR	44.925 EUR	80.125 EUR	40.800 EUR	72.700 EUR	88.600 EUR	80.125 EUR
Lüftungsanlage Zentralgeräte				75.000 EUR	75.000 EUR	75.000 EUR	75.000 EUR
Summe Reinvestitionen, netto:	49.050 EUR	44.925 EUR	80.125 EUR	115.800 EUR	147.700 EUR	163.600 EUR	155.125 EUR
Summe Reinvestitionen mit 19% MwSt:	58.370 EUR	53.461 EUR	95.349 EUR	137.802 EUR	175.763 EUR	194.684 EUR	184.599 EUR
Summe Investition+Reinvestition (butto):	340.459 EUR	2.784.146 EUR	2.877.442 EUR	3.289.678 EUR	3.375.120 EUR	3.409.392 EUR	3.282.042 EUR
<i>Wartung und Instandhaltung</i>							
<i>Heizung</i>							
Wartung und Instandhaltung <sup>3</sup> (Gasvarianten)	1.226 EUR	1.123 EUR		1.020 EUR		1.033 EUR	
Wartung und Instandhaltung <sup>3</sup> (Pelletsvarianten)			3.606 EUR		3.272 EUR		3.606 EUR
Wartung und Instandhaltung <sup>3</sup> (BHKW)						2.150 EUR	
<i>Lüftungsanlage</i>							
Wartung und Instandhaltung <sup>4</sup>				9.000 EUR	9.000 EUR	9.000 EUR	9.000 EUR
Summe Wartung und Instandhaltung, netto:	1.226 EUR	1.123 EUR	3.606 EUR	10.020 EUR	12.272 EUR	12.183 EUR	12.606 EUR
Summe Wartung und Instandhaltung mit 19%	1.459 EUR	1.337 EUR	4.291 EUR	11.924 EUR	14.603 EUR	14.497 EUR	15.001 EUR

Anmerkungen:

<sup>1</sup> mit Montagekosten (10%)

<sup>2</sup> ohne Leitungen

<sup>3</sup> pro Jahr bezogen auf Wärmeerzeuger, hydraulische Einbindung, Zubehör: 2,5% (Gaskessel), 4,5% (Pelletskessel), 4,3% (BHKW)

<sup>4</sup> pro Jahr bezogen auf Zentralgerät (5 x 15.000 EUR) 12%

Aufschlüsselung der baulichen Mehrinvestitionen und der Investitionen in die Lüftungsanlage mit WRG

**Bauliche Minderinvestitionen gegenüber PH-Standard:**

	Fläche Schule		Spez. Preis brutto	Spez. Preis netto		Zusatzdämmdicke	Minderinvestition netto
Dach	1470 m <sup>2</sup>		-1,5	-1,26 EUR/(m <sup>2</sup> *cm)		7,5 cm	-13897 EUR
AW WDVS	1040 m <sup>2</sup>		-1,8	-1,51 EUR/(m <sup>2</sup> *cm)		16 cm	-25170 EUR
AW Keramik	1420 m <sup>2</sup>			-25 EUR/m <sup>2</sup>			-35500 EUR
Fenster	1200 m <sup>2</sup>			-45 EUR/m <sup>2</sup>			-54000 EUR

**Lüftungsanlagen (Grobschätzung für 5 Geräte á 2500 m<sup>3</sup>/h; Versorgung von 4 Treppenhäusern mit Fachräumen+Verwaltung+WC)**

	Anzahl (1 Anlage)	Spez. Preis netto	Investition 1 Anlage (netto)	Investition Schule+Verwaltung (5 Anlagen) netto
Zentralgerät	1	15000 EUR	15000 EUR	75000 EUR
Regelung	1	8000 EUR	8000 EUR	40000 EUR
Brandschutzklappen	12	250 EUR	3000 EUR	15000 EUR
Einblas in Klassen	6	2000 EUR	12000 EUR	60000 EUR
Absaugung aus Klassen	6	1700 EUR	10200 EUR	51000 EUR
Dachdurchführung	2	500 EUR	1000 EUR	5000 EUR
Kanal Flur	1	1900 EUR	1900 EUR	9500 EUR
Kanal Dach	1	1900 EUR	1900 EUR	9500 EUR
<b>Summe Lüftung:</b>			<b>53000 EUR</b>	<b>265000 EUR</b>

## Verbrauchskosten

Bei den Gas- und Stromtarifen wurden die Grund- und Messpreise mit dem Arbeitspreis nach Angaben des Auftraggebers zu einem reinen Arbeitspreis verrechnet. Die Einspeisevergütung ergibt sich aus dem Erneuerbare Energien Gesetz [EEG2004] sowie dem mittleren Baseload-Strompreis an der Strombörse EEX ([www.eex.de](http://www.eex.de)).

Tabelle 4.3: Energietarife. Der Grund- und Messpreis wurde mit dem Arbeitspreis zu einem reinen verbrauchsbezogenen Tarif zusammengefasst (EnBW, [www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de)).

		ct/kWh
Tarif Erdgas (HBA Frankfurt)	Erdgas H	6,5
Holzpellets (HBA Frankfurt)	Holz	3,2
Stromtarif (HBA Frankfurt)	Strom	18,5
Einspeisevergütung bis 50kW (2007)	Strom	-9,71

## Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeit

Die Randbedingungen der Wirtschaftlichkeit sind in Tabelle 4.4 aufgeführt. Sie sind der Gesamtkostenberechnung des Hochbauamts Frankfurt (Internet) entnommen und mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Es wurden zwei Berechnungen mit Energiepreissteigerungsraten von 5% und 10% durchgeführt.

Tabelle 4.4: Wirtschaftlichkeitsparameter

Betrachtungszeitraum	40 Jahre	40 Jahre
Kapitalzins	3,1%	3,1%
Preissteigerung Energie	5%	10%
Preissteigerung sonstiges	3%	3%

### 4.2.1 Ökologische Randbedingungen

Der Primärenergiebedarf sowie die CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden mit den in Tabelle 4.5 genannten Werten ermittelt.

Tabelle 4.5: Verwendete Primärenergiefaktoren ([DIN V 4701-10:2003]) und CO<sub>2</sub> – Äquivalente ([PHPP2007], [Gemis 4.3])

	Primärenergiefaktor	CO <sub>2</sub> – Äquivalent
	[kWh/kWh]	[t/mWh]
Holz	0,2	0,05
Erdgas	1,1	0,25
Strom	2,7	0,68

## 4.2.2 Ergebnisse

### Wärmebedarf (Nutz- und Endenergie)

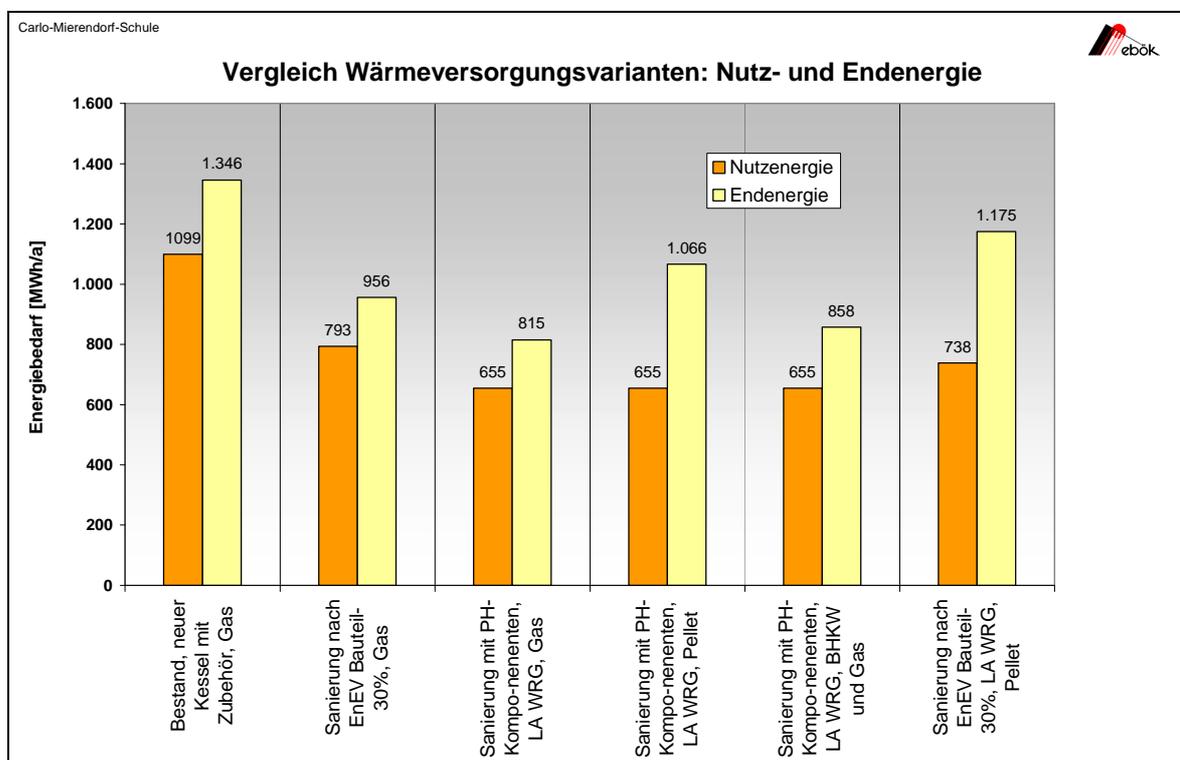


Abbildung 4.1: Energiebedarf für die betrachteten Sanierungs- und Versorgungsvarianten

Bei den Passivhausvarianten liegt der Brennstoffbedarf für die Gasvariante knapp ein Viertel unter dem für die Pelletvariante. Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen jedoch bei den Pelletvarianten nur etwa ein Viertel gegenüber der Gasvariante (vg. nachfolgende Grafik).

## Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emission

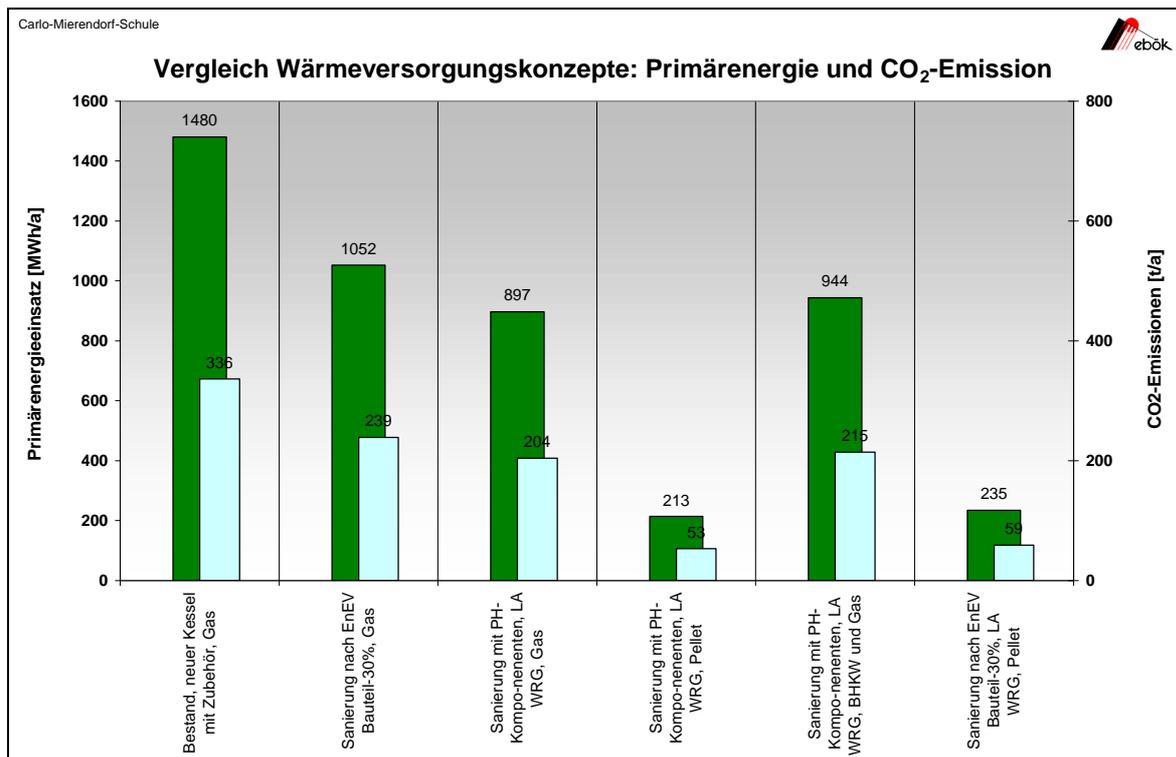


Abbildung 4.2: Umweltwirkung der betrachteten Versorgungsvarianten für das Schulgebäude (rechte Balken/Skala: CO<sub>2</sub> – linke Balken/Skala: PE-Bedarf)

Die Varianten „EnEV-Bauteil-30%“ erreichen nachfolgende Unterschreitungen der EnEV - Anforderung:

	Anforderungen EnEV (2004)				Erreichte Werte		Unter- / Überschreitung der Sanierungsanforderungen	
	Neubau		Sanierung		Ht'	PE	Ht'	PE
	W/m <sup>2</sup> K	kWh/m <sup>3</sup> a	W/m <sup>2</sup> K	kWh/m <sup>3</sup> a	W/m <sup>2</sup> K	kWh/m <sup>3</sup> a		
Sanierung nach EnEV Bauteil-30%, Gas	0,827	22,0	1,158	30,8	0,605	41,2	<b>48%</b>	<b>34% Überschreitung!</b>
Sanierung nach EnEV Bauteil-30%, LA WRG, Pellet	0,827	22,0	1,158	30,8	0,605	11,5	<b>48%</b>	<b>63%</b>

## Gesamtkosten

Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Gesamtkosten der betrachteten Varianten über 40 Jahre unter den o.g. Randbedingungen mit 5% und mit 10% Energiepreissteigerung (incl Re-Investitionen von Haustechnikkomponenten).

Die Teuerungsrate für Wärme beträgt nach den Angaben des statistischen Bundesamtes seit dem Jahr 2000 9,90%. Die Betrachtung einer 10%igen Energiepreissteigerung scheint daher nicht unrealistisch.

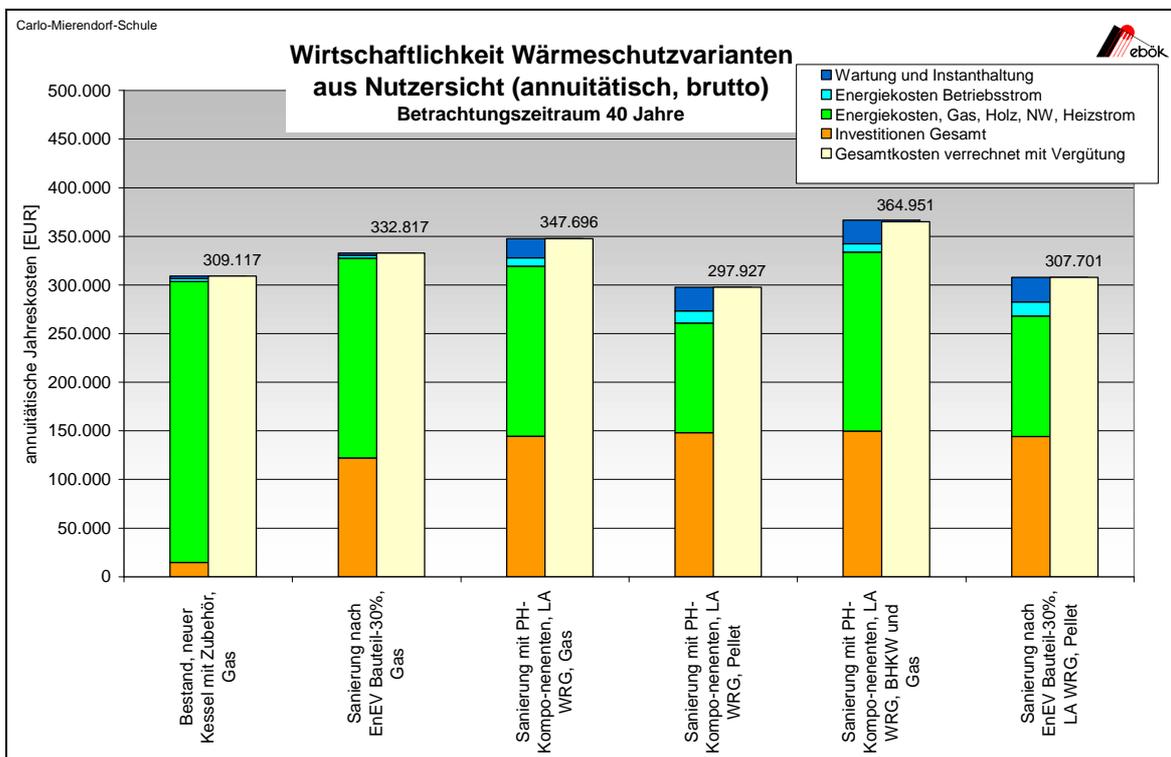


Abbildung 4.3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei 5% Energiepreissteigerung

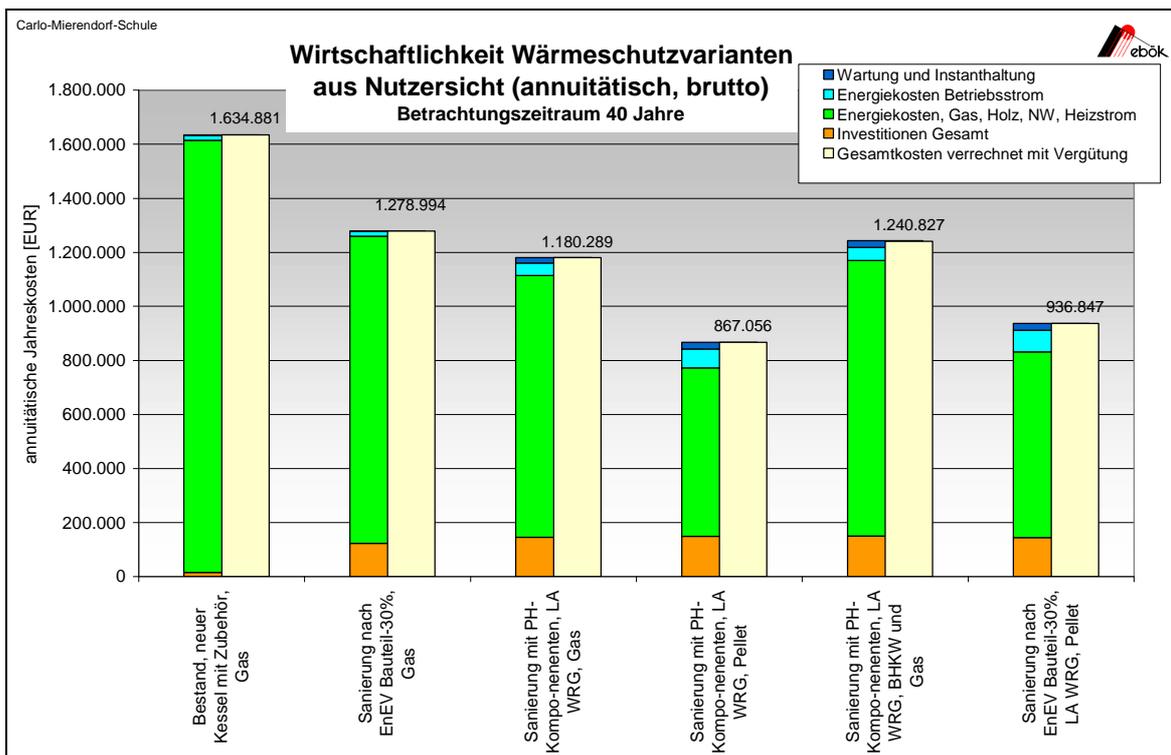


Abbildung 4.4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei 10% Energiepreissteigerung

Die Gesamtkosten (für Investition, Wartung, Instandhaltung und Energiekosten incl. Teuerungsraten) sind bei der Sanierung mit Passivhauskomponenten mit Pelletversorgung am niedrigsten. Dies gilt sowohl für die eher niedrige Energiepreissteigerung von 5% und noch deutlicher bei einer Energiepreissteigerung von 10%.

## 4.3 Wärmebrückenoptimierungen

### Unterkonstruktion Keramikfassade

Der Wärmedurchgangskoeffizient der sanierten Außenwand hängt stark von der Wärmebrückenwirkung der verwendeten Unterkonstruktion für die vorgesehene Keramikfassade ab. In der nachfolgenden Tabelle sind die U-Werte und U-Wert-Zuschläge verschiedener Ausführungsvarianten einander gegenübergestellt.

Neben der ungestörten Wärmedämmung ohne Unterkonstruktion (z.B. ein Wärmedämmverbundsystem) mit 28cm Dämmdicke der WLG 035 wurde die Auswirkung verschiedene Unterkonstruktionen aus Holz, Alu und Edelstahl verglichen. Die punktuellen Wärmebrückenzuschläge haben wir einem Prüfbericht der Fa. BWM entnommen (P 4.1/07-278-1 vom 6.3.2008, ausgestellt von MFPA Leipzig, s. Anlage).

Thermische Auswirkung verschiedener Unterkonstruktionen	X-Wert	U-Wert *)		ΔU-Zuschlag*)	
		bei 3 Halteankern	bei 6 Halteankern	bei 3 Halteankern	bei 6 Halteankern
Ohne UK (WDVS) 28cm WLG 035		0,119		0,000	
Holz - UK 13,3% Holzanteil (28x8cm / e=60cm)		0,158		0,039	
Holz - UK 13,3% Holzanteil keuzweise versetzt		0,147		0,028	
TJI - UK 2,5% Holzanteil (28x1,5cm / e=60cm)		0,137		0,018	
BWM-Alu-UK mit "Thermostop" (Var.1)	0,029	0,206	0,293	0,087	0,174
BWM- mit V2A-Schwert ohne "Thermostop" (Var.4)	0,013	0,158	0,197	0,039	0,078
BWM- mit V2A-Schwert mit "Thermostop" (Var.5)	0,012	0,155	0,191	0,036	0,072
Vormauerung mit Halteankern und Konsolen aus Edelstahl (System Preungesheim; Fa. Moderson)				0,038	

\*) Ohne Zuschlag von evt. notwendigen Dübeln

Die notwendige Anzahl der Halteanker hängt maßgeblich von dem Untergrund ab. Es wurden uns Werte zwischen 2,5 bis max. 6 Halteanker/m<sup>2</sup> angegeben. Bei ungünstigem Untergrund sind eventuelle auch Lastabtragungen nach oben (über die Attika) oder Aufständering nach unten über eine extra Fundament möglich. Dies müsste statisch genauer geprüft werden.

Prinzipiell wären Holzunterkonstruktionen möglich, sind aber wegen größeren thermisch- und feuchtebedingten Bewegungen nicht zu empfehlen. Außerdem müssten sie

brandschutztechnisch überprüft werden. Sie dienen hier hauptsächlich zum wärmetechnischen Vergleich.

Als „passivhaustauglich“ kämen von den angegebenen Varianten nur die thermisch optimierten UK mit Edelstahlschwert (V2A) in Betracht. Bei den Halteankern mit Aluschwert liegen die U-Wert-Zuschläge je nach Anzahl bei ca. 75%-150%.

Wichtig ist sowohl bezüglich Wärmeschutz als auch bezüglich Investitionskosten die Anzahl der Anker auf das statisch notwendige Minimum zu reduzieren. Dabei sollten verschiedene Befestigungsmöglichkeiten in Betracht gezogen werden.

Damit die Fassadendämmplatten nicht in die Hinterlüftungsebenen fallen sind vermutlich Fixierungen notwendig. Auch hierbei ist eine Vermeidung von zusätzlichen Wärmebrücken wichtig. Geprüft werden sollten Fixierungen mit einem Drahtgewebe, Fixierung mit einer diffusionsoffenen Platte, Fixierung durch Verklebungen oder notfalls Fixierungen durch wärmetechnisch optimierte Kunststoffdübel.

Zum Vergleich wurde auch der Wärmebrückenzuschlag für die Konstruktion in der neugebauten Passivhausgrundschule in Preungesheim mit Vormauerung und Edelstahlhalteankern (incl. der notwendigen Konsolen über den Fenstern und der Attika) gegenübergestellt.

Die angegebene U-Wert-Zuschläge können näherungsweise auch für Dämmdicken von 25cm –30cm verwendet werden.

Ansprechpartner für uns waren bezüglich Montageanker Hr. Fröhlich (Fa. BWM, Stuttgart; Tel. 05846-979484 / Zentrale Tel. 0711-90313-0) und als Ausführungsbetrieb die Firma Neuner (Mannheim; Tel. 0621-751099; Hr. Neuner).

### **Außenwand- und Innenwandssockel**

Die Wärmeverluste über das Erdreich (in der Fläche und in den Wandfußpunkten) können durch eine Perimeterdämmung deutlich reduziert werden. Außen wäre eine vertikale Perimeterdämmung, in den Innenhöfen vermutlich eine horizontale Perimeterdämmung am sinnvollsten.

In der Berechnung wurde eine Perimeterdämmung von 2 m Tiefe und mindestens 8 cm Dicke nach DIN 4108-6 (Tab.3) berücksichtigt.

### **Sonstige Bauteilanschlüsse**

Die übrigen Bauteilanschlüsse können und sollten in jedem Fall wärmebrückenfrei ausgebildet werden. Die Fensterrahmen sollten möglichst ca. 4-5cm überdämmt werden und nach Möglichkeit wenigstens teilweise in die Dämmebene geschoben werden.

### 4.3.1 Variantenberechnungen und Ergebnisse

Für folgende Wärmebrückenvarianten wurde die Auswirkung auf den Heiz- und Endenergiebedarf (bei Gas-Brennwert-Kessel) berechnet:

„Grundvariante“ PH-Sanierung	V2A-Schwert mit Thermostop; 3 Anker / m <sup>2</sup> ; U <sub>Fassade</sub> = 0,155 W/m <sup>2</sup> K
Variante 1	Ohne Wärmebrückenzuschlag (Optimum), U <sub>Fassade</sub> = 0,119 W/m <sup>2</sup> K
Variante 2	Alu-UK mit 6 Halteanker/m <sup>2</sup> (nicht optimierte Ausführung) U-Wert-Zuschlag 0,293 W/m <sup>2</sup> K
Variante 3	Wie Grundvariante, jedoch mit umlaufender Flanken- und Perimeterdämmung (auch in den Innenhöfen).

Nachfolgend sind die Energieeinsparungen und die Barwerte für die Maßnahmen bei einer jährlichen Energiepreissteigerung von 5% und 10% angegeben.

Barwerte verschiedener Wärmebrückenvarianten  
Sanierung der Bauteile A, B und a-d

Carlo-Mierendorff-Schule, Frankfurt-Preungesheim

Datum: 20.10.2008

Betrachtungszeitraum (Zzr)	a	40			40				
Kapitalzins		3,1%			3,1%				
Preissteigerung Energie		5%			10%				
Annuitätsfaktor		0,044			0,044				
Mittelwertfaktor Energie		2,61			8,65				
Spez. Wärmekosten Gas	€/kWh	0,065			0,065				
Spez. Wärmekosten Pellets	€/kWh	0,032			0,032				
Spez. Stromkosten	€/kWh	0,185			0,185				
Energiekosten incl. Mehrwertsteuer (brutto)									
Variante			Var. 1	Var. 2	Var. 3		Var. 1	Var. 2	Var. 3
		Baisvar.	PH-Komp.	PH-Komp.	PH-Komp.	Baisvar.	PH-Komp.	PH-Komp.	PH-Komp.
		PH-Komp.	Fassade WB-	Fassade mit 6	mit Rand-	PH-Komp.	Fassade WB-	Fassade mit 6	mit Rand-
		Gas	frei	Alu-Halter	dämmung	Gas	frei	Alu-Halter	dämmung
HWB	kWh/a	118552	114277	135018	94521	118552	114277	135018	94521
Aufwandszahl		1,22	1,23	1,20	1,25	1,221	1,23	1,20	1,25
EE Wärme	kWh/a	144752	140041	162688	118374	144752	140041	162688	118374
EE Hilfsstrom	kWh/a	11193	10933	11714	10485	11193	10933	11714	10485
EE Strom sonst	kWh/a								
Heizkosten	€/a	9442	9135	10612	7722	9442	9135	10612	7722
Stromkosten	€/a	2068	2020	2165	1938	2068	2020	2165	1938
heutige Betriebskosten	€/a	11511	11155	12777	9659	11511	11155	12777	9659
mittl. Betriebskosten (Rmz)	€/a	30092	29163	33402	25251	99605	96530	110561	83583
Barwert relativ zur Basisvariante (brutto)	€		21.132	-75.288	110.096		69.947	-249.208	364.426

Abbildung 4.5: Wärmebedarf für den Ist-Zustand und die Sanierungsvarianten für das Schulgebäude

### Bewertung und Empfehlung

Für die meisten Bauteilanschlüsse ist eine wärmebrückenfreie Ausführung ohne großen Aufwand möglich.

Eine deutliche wärmetechnische Verbesserung wäre durch eine umlaufende Perimeterdämmung möglich. Die erforderlichen Investitionskosten müssen mit den erreichten Barwerten verglichen werden. Die Perimeterdämmung mit Sicherheit dann wirtschaftlich sinnvoll, wenn sie in Zusammenhang mit anderen, sowieso notwendigen Abgrabungsarbeiten ausgeführt wird. Wenn sie ausschließlich aus energetischen Gründen angebracht werden soll, ist vermutlich eine Ausführung mit geringerer Tiefe als nach DIN 4108-6 tabelliert (2m Tiefe) sinnvoll.

Die Auswirkung der Unterkonstruktion auf den Wärmedurchgangskoeffizient ist erheblich. Die wärmetechnisch verbesserte Ausführung mit Edelstahlschwert, thermischer Trennung und möglichst geringer Anzahl kann aus unserer Sicht als „passivhaustauglich“ bezeichnet werden.

## 4.4 Heizungsanlage

Bei Realisierung einer Holzpelletanlage muss im neben der Heizzentrale gelegenen Raum das Pelletlager eingerichtet werden. Für die Variante mit BHKW ist die Aufstellung zusammen mit dem Kessel im bestehenden Heizraum möglich.

Leitungen mit zu geringer Wärmedämmung sowie ungedämmte Teile des Leitungsnetzes sollten nachgedämmt werden.

Im Falle einer Sanierung ist es ebenfalls erforderlich, die hydraulischen Parameter neu zu justieren. Die angestrebte Gebäudedämmung reduziert die Heizlast erheblich, so dass der Massenstrom der betroffenen Heizkreise entsprechend anzupassen ist. Ggf. sind Pumpen und Regelorgane, z.B. Dreiwegeventile, auszutauschen. Auch die Zusammenfassung von Heizgruppen mit hydraulischen Abgleich über Differenzdruckregler ist denkbar.

Empfehlenswert ist auch die eingehende Überprüfung der vorhandenen Regelung im Hinblick auf korrekte Funktion. Eine Liste mit den eingestellten Parametern und Zielwerten, liegt uns nicht vor. Anhand dieser Listung wäre die Funktionsfähigkeit des Bestandes prüfbar. Bewährt haben sich Systeme, die auf einer leicht verständlichen und leicht bedienbaren Oberfläche (z.B. Touchscreen auf Schaltschrank) die wesentlichen Betriebsparameter anzeigen und Korrekturingriffe ermöglichen. Wie oben beschrieben tritt an Leitungen in einem der Installationsgänge Korrosion auf, wahrscheinlich aufgrund von eindringender Feuchte über die Wände. Hier ist eine genauere Untersuchung mit Probeentnahme von Rohrleitungsstücken erforderlich. Bei tatsächlich gravierender Beschädigung ist ein Leitungsaustausch notwendig. Das Ersatzmaterial sollte aus korrosionsbeständigem Material gewählt werden (Kupfer, Edelstahl oder Kunststoff) oder der Keller könnte von außen abgedichtet werden, was vermutlich die teurere Variante ist.

## 4.5 Warmwasserbereitung

Die Zirkulationsverluste für die WW - Versorgung der Sporthalle sind als sehr hoch anzunehmen. Die genauen Betriebszeiten der Zirkulationspumpe sind nicht bekannt. Bei einer (vermuteten) permanenten Zirkulation ergeben sich Verluste von ca. 17.500 kWh/a. Sie übersteigen damit den geschätzten Bedarf von ca. 10.000 kWh/a (bei ca. 6700 Duschvorgängen/a).

Eine erhebliche Reduzierung der Zirkulationsverluste ist möglich durch Verlagerung der Warmwasserspeicher in die Sporthalle (Platzbedarf ca. 1,5x1,5m). Die Speicherbeladung könnte über eine zeitgesteuerte Zwangsbeladung abhängig von den Hauptnutzungszeiten (Schulsport, Vereinsport) in Kombination mit einer temperaturabhängigen Beladung erfolgen. Auch die Speichergröße (derzeit 1,2 m<sup>3</sup>) ist dann dem tatsächlichen Bedarf anzupassen. Dies senkt zusätzlich die Stillstandsverluste. Durch Verwendung eines Schichtladesystems (mit externem Wärmetauscher) kann das Speichervolumen systembedingt kleiner bemessen werden, als bei Systemen mit innenliegendem Wärmetauscher. Zudem ergeben sich dann erwünscht niedrige Rücklauftemperaturen. Die hygienischen Anforderungen sind zu beachten (Legionellenprophylaxe).

Ob die Vorhandenen Warmwasserleitungen im Kanal als Heizungsleitungen umfunktioniert werden könnten, ist zu prüfen. Ebenso wäre denkbar, einen Abzweig an den vorhandenen Heizungsleitungen einzusetzen, sofern die Kapazität ausreichend ist.

Die (Teil-) Deckung des Warmwasserbedarfs durch eine thermische Solaranlage auf dem Dach der Sporthalle ist möglich. Für 50% Deckungsanteil (ohne Zirkulationsverluste) wären ca. 15m<sup>2</sup> Flachkollektoren erforderlich (Abschätzung nach PHPP). Während der Ferien (Sommer, Pfingsten) findet allerdings keine Nutzung statt. Dies verschlechtert die Wirtschaftlichkeit und den Nutzungsgrad einer Solaranlage erheblich.

Es wäre aus unserer Sicht sinnvoller das Geld für die Solaranlagen zunächst in die Sanierung der übrigen Gebäude (und ggf. andere städtische Gebäude) zu investieren. Wenn dann noch Geld übrig ist, kann eine Solaranlage ohne großen Aufwand auch nachgerüstet werden. Dazu könnten im Rahmen von Sanierungsarbeiten schon Vorhaltungen gemacht werden.

Sofern eine Solaranlage in Erwägung gezogen wird, ist eine messtechnische Erhebung des Bedarfs erforderlich.

In der Lehrküche ist eine Spülmaschine aufgestellt. Die sonstige WW - Versorgung erfolgt in der Lehrküche über elektrische WW-Boiler, die bei Austausch durch Durchlauferhitzer ersetzt werden sollten, sofern dies mit vertretbarem Aufwand für die Elektroverkabelung möglich ist. Alternativ könnten die elektrischen WW-Speicher mit Zeitschaltuhren ausgestattet werden.

## 4.6 Lüftungskonzept

### 4.6.1 Allgemeines

Die bisher vorherrschende Lüftung von Klassenräumen in Schulen über Fenster stellt eine unbefriedigende Lösung dar. Insbesondere während der Heizperiode sind hohe Lüftungswärmeverluste und eine starke Beeinträchtigung des thermischen Raumklimas während des Lüftens, verbunden mit häufigen Überschreitungen des hygienischen Richtwertes für die Raumluftqualität, die zu Befindlichkeitsstörungen, Unkonzentriertheit und Ermüdungserscheinungen führen.

Eine dauerhafte Einhaltung des hygienischen Richtwertes und eines akzeptablen Raumklimazustands kann mit mechanischen Lüftungsanlagen erreicht werden. Verbunden mit einer effizienten Wärmerückgewinnung können gleichzeitig die Lüftungswärmeverluste und damit die Energiekosten deutlich gesenkt werden. Siehe dazu auch im Anhang unser Merkblatt zu Lüftung in Schulen.

Es wird empfohlen, bei der Sanierung der Carlo-Mierendorff-Schule die Unterrichtsräume mit einer Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung auszustatten.

Die vorhandenen Einrichtungsgegenstände und Baumaterialien sind in Hinblick auf Schadstoffemissionen qualifiziert zu beurteilen. Gegebenenfalls sind Sanierungsmaßnahmen oder ein Austausch vorzusehen.

Unabhängig von der Installation raumluftechnischer Anlagen sollten immer die nach geltenden Richtlinien erforderlichen, offenbaren Fensterflächen vorhanden sein. Dies ist im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz unverzichtbar. Auch die Möglichkeit der unterstützenden Fensterlüftung muss gegeben sein.

In den allgemeinen Schulbauempfehlungen für Baden-Württemberg (ASE vom 08. Juli 1983) wird für die Be- und Entlüftung je Schüler 0,3 m<sup>2</sup> voll zu öffnende Fensterfläche empfohlen.

In der Arbeitsstättenrichtlinie 5 „Lüftung“ wird für einseitig gelüftete Räume bei überwiegend sitzender Tätigkeit insgesamt 400 cm<sup>2</sup> freier Querschnitt je m<sup>2</sup> Bodenfläche für Zuluft und Abluft gefordert. Die angenommene Bezugsfläche beträgt dabei 6 m<sup>2</sup> je Person. Dies ergibt eine auf die Person bezogene Gesamtöffnungsfläche von 0,24 m<sup>2</sup>/Pers.

Bei unterstützender mechanischer Lüftung darf die Öffnungsfläche um bis zu 50% reduziert werden (siehe Abschnitt 3.2 der ASR).

Eine Abstimmung mit den zuständigen Brandschutzbehörden ist erforderlich.

Die Aufstellung der Geräte muss von statischer Seite aus geprüft werden.

## 4.6.2 Luftmengen

### **Klassenräume:**

Folgende Voraussetzungen werden als gegeben angenommen:

- ausreichend dimensionierte, öffenbare Fensterflächen wie oben beschrieben
- neben den Nutzern keine weiteren nennenswerten Emissionsquellen;  
Sollten daran Zweifel bestehen, müssen die vorhandenen Einrichtungsgegenstände und Baumaterialien in Hinblick auf Schadstoffemissionen qualifiziert beurteilt werden. Gegebenenfalls sind Sanierungsmaßnahmen oder ein Austausch vorzusehen.

Unter diesen Voraussetzungen kann die spezifische Außenluftfrate auf ca. 15 m<sup>3</sup>/h je Person dimensioniert werden, um die CO<sub>2</sub>-Raumluftkonzentration im Bereich des hygienischen Richtwertes von 0,15 Vol% zu halten. Dies entspricht einer niederen Raumluftqualität IDA 4 entsprechend DIN EN 13779.

Für Unterrichtsräume mit einer Belegung von etwa 30 Personen ergibt dies einen Luftvolumenstrom von ca. 450 m<sup>3</sup>/h. Im Rahmen dieses Konzepts wird je Unterrichtsraum von dieser Luftmenge ausgegangen. Wir empfehlen für jedes Klassenzimmer eine weitere Stufe mit ca. halbem Volumenstrom für Zeiten mit Teilbelegung oder für Zeiten mit sehr kalten Außentemperaturen vorzusehen.

Im Rahmen einer Planung können die Luftmengen entsprechend der tatsächlichen Nutzung und der typischen Belegung genauer differenziert werden.

### **Toilettenräume**

Die Luftmengen orientieren sich an den Arbeitsstättenrichtlinien für Toilettenräume (ASR 37/1). Dort werden 30 m<sup>3</sup>/h je Toilette und 15 m<sup>3</sup>/h je Urinal, mindestens jedoch ein 5-facher Luftwechsel gefordert.

## 4.6.3 Schallschutz

Der durch die Anlage verursachte A-bewertete Schallschutzpegel in den Klassenräumen soll laut DIN 13779 30-40 dB(A) nicht überschreiten. Wir empfehlen im Regelbetrieb (ca. 400 bis 450 m<sup>3</sup>/h) 30 dB(A) nicht zu überschreiten.

#### 4.6.4 Anlagen

Es ist durch die baulichen Gegebenheiten sinnvoll, die erforderlichen Luftmengen auf mehrere Anlagen aufzuteilen. Alle Lüftungsgeräte sollen eine Rückwärmzahl des Wärmetauschers von mindestens 75% aufweisen. Die Effizienz der Ventilatoren sollte mindestens der Klasse SFP 3 nach DIN 13779 entsprechen.

Im Rahmen des Konzepts wurde von folgende Anlagen ausgegangen:

- Lüftungsanlagen für das Schulgebäude Bauteil A  
4 Lüftungsgeräte (Zu-/Abluft mit Wärmerückgewinnung, Frostschutz und ggf. Nachheizregister) mit je ca. 2.500 m<sup>3</sup>/h auf dem Dach Bauteil A; Platzierung jeweils im Bereich der Treppenhäuser zur Versorgung der über das jeweilige Treppenhaus erschlossenen Klassenräume; vertikaler Verzug der Lüftungskanäle im Treppenhaus vor Wand zwischen den Klassenräumen mit Brandschutzverkleidung zur Vermeidung von Brandschutzklappen zwischen Flur und Klassenräumen; Abzweige mit Volumenstromregler, Schalldämpfer und Einblasstrecke/Absaugstrecke je Klassenraum;

Anstelle von vier Geräten ist auch eine Zusammenfassung von z.B. jeweils zwei Geräten denkbar mit entsprechendem Verzug von Kanälen auf dem Dach. Dies, ebenso wie die genauen Volumenströme unter Berücksichtigung spezieller Räume z.B. Chemie und Lehrküche sind jedoch im Rahmen einer Planung festzulegen.

- Lüftungsanlage für das Schulgebäude Bauteil B  
1 Lüftungsgerät (Zu-/Abluft mit Wärmerückgewinnung, Nachheizregister) mit ca. 800 m<sup>3</sup>/h auf dem Dach Bauteil B (ca. 0,6-facher Luftwechsel); horizontaler Kanalverzug im Flur unter Beachtung Brandschutz mit Abzweigen in die Räume (Schalldämpfer, Vol.Regler, Ein-/Auslässe);
- Lüftungsanlage für Bauteil D (WC-Trakt)  
1 Lüftungsgerät (Zu-/Abluft mit Wärmerückgewinnung, Nachheizregister) mit ca. 850 m<sup>3</sup>/h (mind. 5-facher LW) auf dem Dach Bauteil D;

#### 4.7 Sommerlicher Wärmeschutz

Zur Optimierung der Solargewinne im Winter und zur effektiven Reduktion der solaren Einträge im Sommer sollte in Passivhäusern ein beweglicher, außenliegender Sonnenschutz möglichst mit hinterlüfteten Lamellen auf den Südfassaden eingebaut werden. Die Regelung sollte automatisch erfolgen und manuell in den einzelnen Räumen übersteuerbar sein.

Feststehende Sonnenschutzvorrichtungen reduzieren im Winter die Wärmegewinne. Die Sonnenschutzwirkung im Sommer hängt stark vom System ab. Die pauschalen Reduktionsfaktoren nach DIN 4108-2 können nur bei extrem starken Verschattungswinkeln angerechnet werden.

Die Lüftungsanlage kann durch Sommernachtbetrieb zur Auskühlung des Gebäudes herangezogen werden. Die Wärmerückgewinnung muss dazu durch einen Bypass überbrückt werden. Die Lüftermotoren müssen eine niedrige Aufnahmeleistung aufweisen (sonst wird die Effizienz der Nachtkühlung reduziert).

Wegen den „Kassettendecken“ aus Beton scheint uns eine Entfernung oder Reduktion der Deckenabhängung zur Freilegung der vorhandenen Speichermassen kaum möglich zu sein. Auch aus diesem Grund ist ein sehr effektiver außenliegender Sonnenschutz zu empfehlen.

## 4.8 Tabellarische Übersicht der vorgeschlagenen energetischen Maßnahmen

Tabellarische Auflistung von Investitions- und Betriebskosten der untersuchten Varianten

Carlo-Mierendorff-Schule, Frankfurt-Preungesheim

Datum:

03.12.2008

5% Energiepreissteigerung 3,1% Kapitalzins 40 Betrachtungszeitraum															
	Anfangsinvestition				mittlere jährliche Kosten					Differenz zur Basisvar. €/a	Amortisationszeit geg. Basis a	Annuität der Investitionskosten (mit Reinvestition)			
	Haus-technik €/a	Geb.Hülle €/a	gesamt €/a	Differenz zur Basisvar. €/a	Wärme €/a	Hilfs-strom €/a	Wartung €/a	gesamt €/a	Haustechnik (20a Nutzungsdauer) €/a			Geb.Hülle (40a Nutzungsdauer) €/a	gesamt €/a	Gesamt-kosten (annuitätisch) €/a	
Bestand, neuer Kessel mit Zubehör, Gas (Basis)	282.090	0	<b>282.090</b>		288.669	3.087	2.442	<b>294.198</b>				14.919	0	14.919	<b>309.117</b>
San. nach EnEV Bauteil-30%, Gas	162.346	2.568.339	<b>2.730.685</b>	-2.448.595	205.135	3.087	2.237	<b>210.458</b>	83.739	<b>78</b>		9.443	112.916	122.358	<b>332.817</b>
San. mit PH-Komponenten, LA WRG, Gas	430.542	2.721.334	<b>3.151.876</b>	-2.869.786	174.894	8.332	19.958	<b>203.184</b>	91.014	<b>124</b>		24.871	119.642	144.513	<b>347.696</b>
San. mit PH-Komponenten, LA WRG, Pellet	478.023	2.721.334	<b>3.199.357</b>	-2.917.267	112.623	12.623	24.444	<b>149.690</b>	144.508	<b>32</b>		28.595	119.642	148.237	<b>297.927</b>
San. mit PH-Komponenten, LA WRG, BHKW	493.374	2.721.334	<b>3.214.708</b>	-2.932.618	184.069	8.681	24.267	<b>217.018</b>	77.180	<b>&gt;400</b>		30.086	119.642	149.728	<b>366.745</b>
San. nach EnEV Bauteil-30%, LA WRG, Pellet	529.104	2.568.339	<b>3.097.443</b>	-2.815.353	124.083	14.371	25.109	<b>163.563</b>	130.635	<b>36</b>		31.222	112.916	144.137	<b>307.701</b>

10% Energiepreissteigerung 3,1% Kapitalzins 40 Betrachtungszeitraum															
	Anfangsinvestition				mittlere jährliche Kosten					Differenz zur Basisvar. €/a	Amortisationszeit geg. Basis a	Annuität der Investitionskosten (mit Reinvestition)			
	Haus-technik €/a	Geb.Hülle €/a	gesamt €/a	Differenz zur Basisvar. €/a	Wärme €/a	Hilfs-strom €/a	Wartung €/a	gesamt €/a	Haustechnik (20a Nutzungsdauer) €/a			Geb.Hülle (40a Nutzungsdauer) €/a	gesamt €/a	Gesamt-kosten (annuitätisch) €/a	
Bestand, neuer Kessel mit Zubehör, Gas (Basis)	282.090	0	<b>282.090</b>		1.600.405	17.115	2.442	<b>1.619.962</b>				14.919	0	14.919	<b>1.634.881</b>
San. nach EnEV Bauteil-30%, Gas	162.346	2.568.339	<b>2.730.685</b>	-2.448.595	1.137.284	17.115	2.237	<b>1.156.636</b>	463.326	<b>6</b>		9.443	112.916	122.358	<b>1.278.994</b>
San. mit PH-Komponenten, LA WRG, Gas	430.542	2.721.334	<b>3.151.876</b>	-2.869.786	969.626	46.192	19.958	<b>1.035.776</b>	584.186	<b>5</b>		24.871	119.642	144.513	<b>1.180.289</b>
San. mit PH-Komponenten, LA WRG, Pellet	478.023	2.721.334	<b>3.199.357</b>	-2.917.267	624.393	69.982	24.444	<b>718.819</b>	901.143	<b>3</b>		28.595	119.642	148.237	<b>867.056</b>
BHKW und Gas	493.374	2.721.334	<b>3.214.708</b>	-2.932.618	1.020.497	48.130	24.267	<b>1.092.894</b>	527.068	<b>6</b>		30.086	119.642	149.728	<b>1.242.622</b>
San. nach EnEV Bauteil-30%, LA WRG, Pellet	529.104	2.568.339	<b>3.097.443</b>	-2.815.353	687.926	79.675	25.109	<b>792.710</b>	827.252	<b>4</b>		31.222	112.916	144.137	<b>936.847</b>

**Barwerte verschiedener Wärmebrückenvarianten  
Sanierung der Bauteile A, B und a-d**
**Carlo-Mierendorff-Schule, Frankfurt-Preungesheim**

Datum: 20.10.2008

Betrachtungszeitraum (Zzr)	a	40				40			
Kapitalzins		3,1%				3,1%			
Preissteigerung Energie		<b>5%</b>				<b>10%</b>			
Annuitätsfaktor		0,044				0,044			
Mittelwertfaktor Energie		2,61				8,65			
Spez. Wärmekosten Gas	€/kWh	0,065				0,065			
Spez. Wärmekosten Pellets	€/kWh	0,032				0,032			
Spez. Stromkosten	€/kWh	0,185				0,185			
<i>Energiekosten incl. Mehrwertsteuer (brutto)</i>									
Variante		<b>Baisvar. PH-Komp. Gas</b>	<b>Var. 1 PH-Komp. Fassade WB frei</b>	<b>Var. 2 PH-Komp. Fassade mit 6 Alu-Halter</b>	<b>Var. 3 PH-Komp. mit Rand- dämmung</b>	<b>Baisvar. PH-Komp. Gas</b>	<b>Var. 1 PH-Komp. Fassade WB frei</b>	<b>Var. 2 PH-Komp. Fassade mit 6 Alu-Halter</b>	<b>Var. 3 PH-Komp. mit Rand- dämmung</b>
HWB	kWh/a	118552	114277	135018	94521	118552	114277	135018	94521
Aufwandszahl		1,22	1,23	1,20	1,25	1,221	1,23	1,20	1,25
EE Wärme	kWh/a	144752	140041	162688	118374	144752	140041	162688	118374
EE Hilfsstrom	kWh/a	11193	10933	11714	10485	11193	10933	11714	10485
EE Strom sonst	kWh/a								
Heizkosten	€/a	9442	9135	10612	7722	9442	9135	10612	7722
Stromkosten	€/a	2068	2020	2165	1938	2068	2020	2165	1938
heutige Betriebskosten	€/a	11511	11155	12777	9659	11511	11155	12777	9659
mittl. Betriebskosten (Rmz)	€/a	30092	29163	33402	25251	99605	96530	110561	83583
<b>Barwert relativ zur Basisvariante (brutto)</b>	€		<b>21.132</b>	<b>-75.288</b>	<b>110.096</b>		<b>69.947</b>	<b>-249.208</b>	<b>364.426</b>

## 5 Einsparpotential der übrigen Gebäude

In den nachfolgenden drei Grafiken ist eine Abschätzung der Einsparpotentiale bei energetischer Verbesserung der übrigen Bauteile (gesamte Schule) dargestellt.

Die Grafiken zeigen

- den spez. Heizwärmebedarf (Istzustand/Passivhaussanierung/Passivhausneubau),
- die absolute Energieeinsparung bei Passivhaussanierung und bei Passivhausneubau (bei gleichen Grundflächen wie bisher)
- die jährlichen Energiekosteneinsparungen bei heutigen Energiepreisen bei Passivhaussanierung und bei Passivhausneubau (zur Berechnung von annuitätischen Kosteneinsparungen ist die Angabe des Sanierungszeitpunktes erforderlich).

Bei den Sanierungsvarianten mit Passivhauskomponenten sind wir von der gleichen Wärmeeinsparung wie bei dem Hauptgebäude ausgegangen (obere Grenze, 79% Energieeinsparung) bei Neubaustandard sind wir von 15 kWh/m<sup>2</sup>a Heizwärmebedarf ausgegangen.

Als Wärmeversorgungs-technik wurde bei der Kosteneinsparung von einer Holzpellet-heizung ausgegangen.

Der Spezifische Wärmebedarf des IPI-Baus im Ist-Zustand ist relativ zu den anderen am niedrigsten.

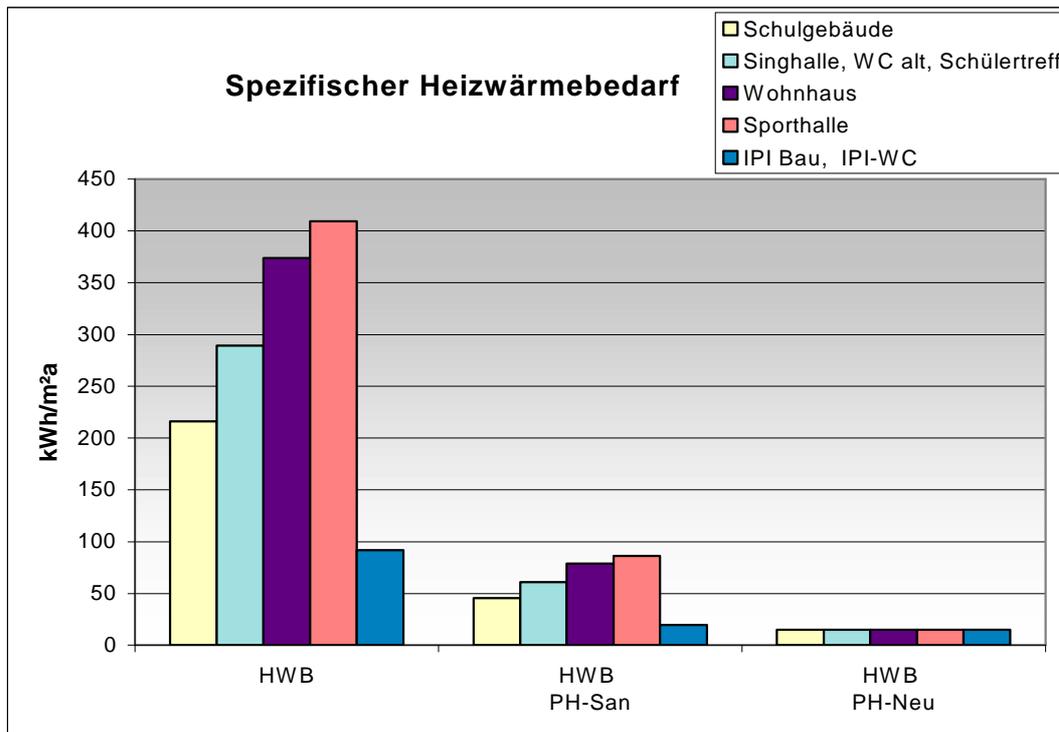


Abbildung 5.1: Spezifischer Heizwärmebedarf im Ist-Zustand, bei Passivhausanierung bzw. Passivhausneubau.

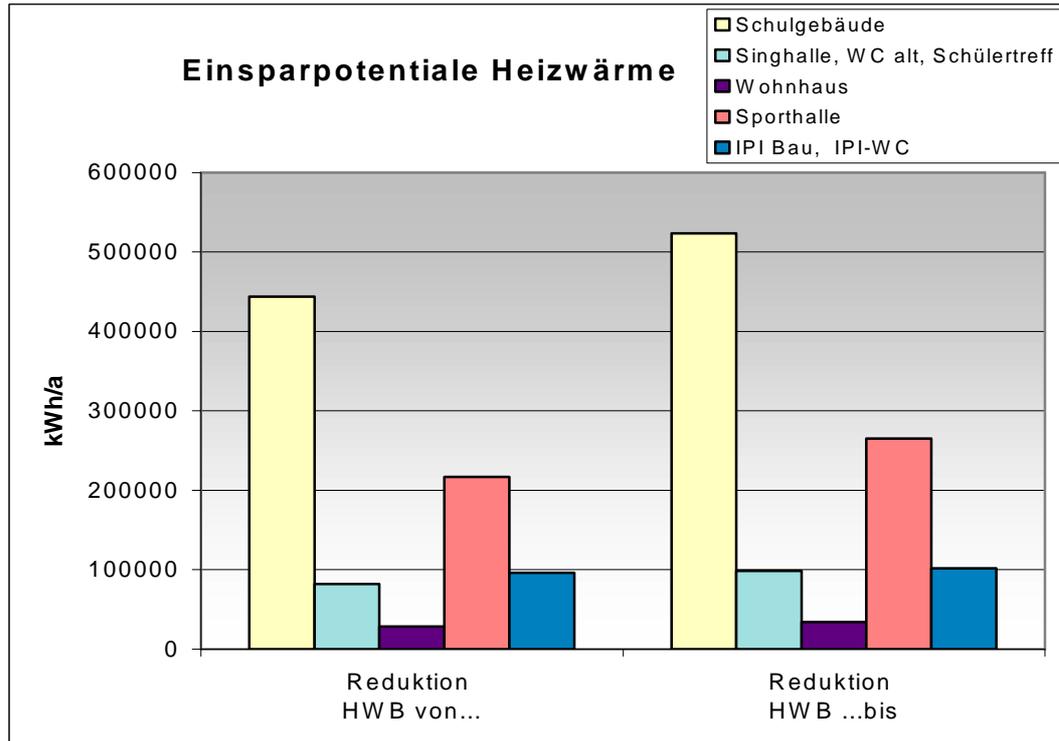


Abbildung 5.2: Jährliches Einsparpotential Heizwärme bei Passivhausanierung bzw. -neubau.

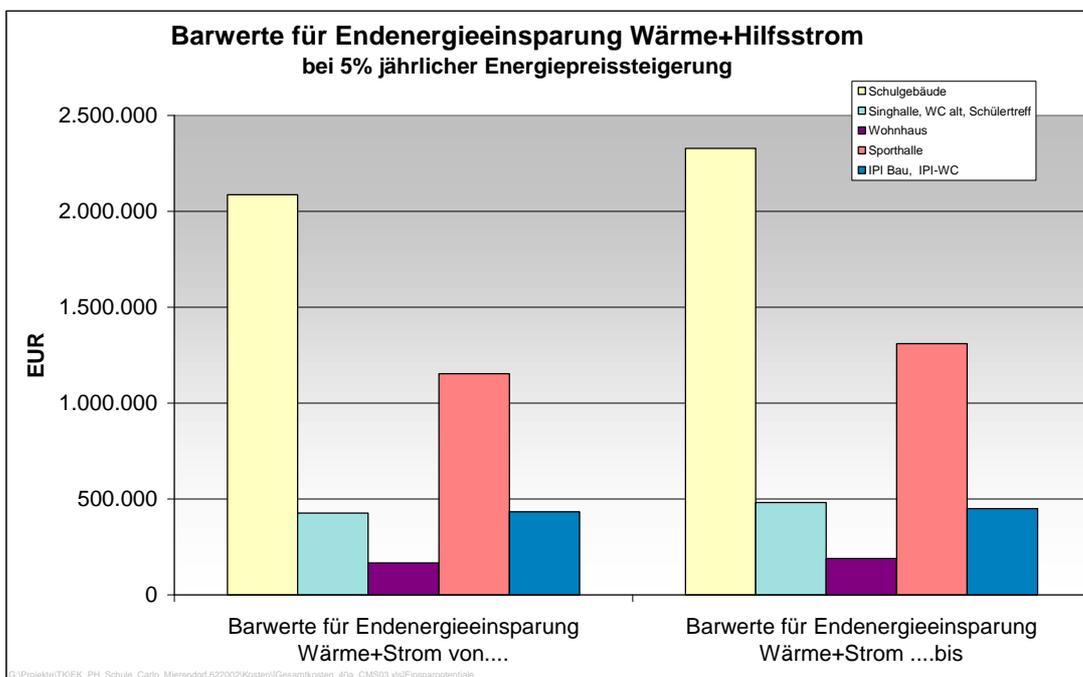


Abbildung 5.3: Barwerte bei Passivhaussanierung bzw. bei -neubau bei 5% Energiepreissteigerung (Pellet-Wärmeversorgung der sanierten Gebäude).

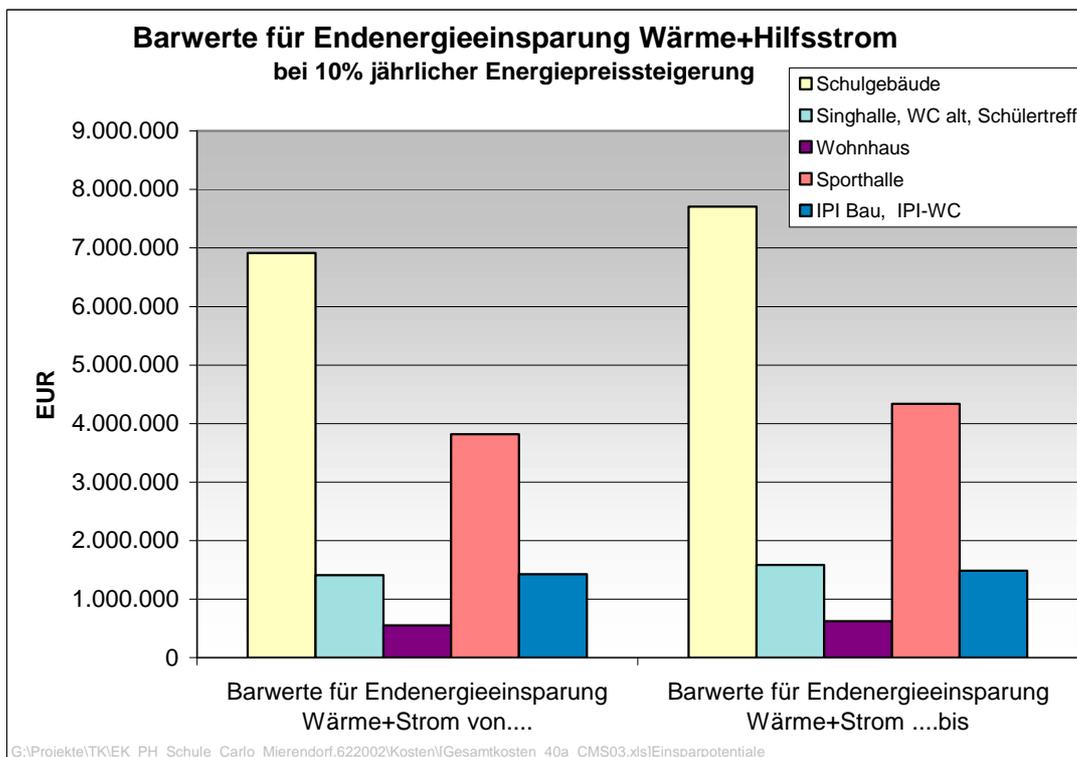


Abbildung 5.4: Barwerte bei Passivhaussanierung bzw. bei -neubau bei 10% Energiepreissteigerung (Pellet-Wärmeversorgung der sanierten Gebäude).

Die potentiellen Energie- und Kosteneinsparungen beim Hauptgebäude (Bauteile A, B und a-d) sind am größten. Die Summe der Einsparpotentiale der übrigen Gebäude ist etwa gleich groß.

## 6 Literatur

- [EnEV 2004] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 2. Dezember 2004). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004, Teil I, Nr. 64, Bonn 7. Dezember 2004
- [EnEV 2007] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 24. Juli 2007). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007, Teil I, Nr. 34, Bonn 26. Juli 2007
- [EnEV RegelnNiWo07] Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Vom 26. Juli 2007. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- [EPass HWW 2005] Loga T., U. Imkeller-Benjes. Energie-Pass Heizung / Warmwasser, Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem. Aktualisierung in EnEV-XL (Rechenblatt) Version 2.2. Mai 2005
- [LEE 2000] Elektrische Energie im Hochbau: Leitfaden Elektrische Energie. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten; 2. überarbeitete Fassung. Wiesbaden: 2000.
- [LEG 95] Heizenergie im Hochbau: Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; 5. überarbeitete Auflage. Wiesbaden: 1995.
- [MEG] Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden“ (MEG). IWU/DS-Plan 2005

- [VDI 2067-1] Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung. Hrsg. VDI. Blatt 1. Düsseldorf: Sept. 2000.
- [Mini-BHKW] MiniBHKW-Plan. Auslegung und Planung von kleinen Blockheizkraftwerken. Version 2.00. Handbuch. Hrsg.: Dipl.-Ing. (FH) Friedhelm Steinborn, Mai 2006
- [DIN V 4701-10:2003] Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, 2003-08
- [DIN V 4108-6:2003] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, Juni 2003.
- [EnEV 2004] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 2. Dezember 2004). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004, Teil I, Nr. 64, Bonn 7. Dezember 2004
- [Gemis 4.3] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.3. Institut für angewandte Ökologie e.V., Darmstadt. [www.gemis.de](http://www.gemis.de).
- [PHPP2007] Feist, Wolfgang; J. Schnieders, R. Pfluger, B. Kaufmann, O. Kah: Passivhaus Projektierungs Paket 2007. Anforderung an qualitätsgeprüfte Passivhäuser. Darmstadt. Dokumentation und Excel-Arbeitsmappe.
- [EEG2004] Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (Erneuerbare Energien Gesetz vom 21. Juli 2004). Bundesgesetzblatt 2004 Teil1 Nr. 40.

## 7 Anhang

### 7.1 Abschätzung der Pellets-Lagerraumgröße

Energieinhalt Holzpellets		4,9 kWh/kg	4900 kWh/t
Schüttgewicht		650 kg/m <sup>3</sup>	
Jahresbrennstoffbedarf (Endenergie)	MWh/a	1068	
	m <sup>3</sup>	335	218 to
Lagerraumgröße			
bei maximaler Befüllung von	75%		
Jahresbedarf	m <sup>3</sup>	447	290 to
Halbjahresbedarf	m <sup>3</sup>	223	145 to

Varianten	Jahres-Pellets-Bedarf		bei 2,0 m Raumhöhe [m <sup>2</sup> ]
	[m <sup>3</sup> ]	[t]	
Nur BT A,B,a-d PH-saniert	<b>447</b>	290	<b>223</b>
Nur IPI-Bau nicht saniert	<b>224</b>	145	<b>112</b>
Sonstige Gebäude PH-Neubau	<b>175</b>	114	<b>88</b>

Der mögliche Lagerraum (ca. 240m<sup>3</sup>) müsste bei einer Sanierung der Bauteile A, B und a-d mit PH-Komponenten ca. 2 mal jährlich gefüllt werden (je nach Wetter). Nach einer Sanierung aller Bauteile im PH-Standard (bis auf den IPI-Bau) würde eine Füllung pro Jahr gerade ausreichen.

### 7.2 Drucktestergebnisse

Am 15.2.2008 wurde im Klassenraum DG Treppenhaus b rechts eine Luftdichtigkeitsprüfung durchgeführt. Die klimatischen Randbedingungen sind im Bericht zur Thermografie, die am gleichen Tag durchgeführt wurde, angegeben. Zur Messung wurde ein Gebläse in die Türe zum Treppenhaus b eingebaut. Die Kippfenster im Treppenhaus b wurden für die Messung geöffnet.

Bei dem Drucktest wurden folgende wesentliche Leckagen festgestellt:

- Öffnungsfugen der Fenster auf der Nordseite (s. Unterdruckthermografien im Thermografiebericht)

Sonst wurden im Klassenraum nur interne Leckagen vor allem an der (2.) Innentüre und an einem Kabelkanal festgestellt.

Die quantitative Messung ergibt einen Luftwechsel bei 50 Pa Unterdruck ( $n_{50}$ -Wert) von 3,7 1/h (s. Auswertung nachfolgend). Dieser Wert ist aber wegen einem sehr hohen Anteil von internen Leckagen nicht sehr aussagekräftig.

Auftraggeber:	HBA Frankfurt a.M. Gerbermühlstrasse 48 60594 Frankfurt a.M.	Auftragnehmer:	e b ö k GmbH Schellingstr. 4/2 72072 Tübingen
Objekt:	Carlo-Mierendorff-Schule Klassenraum A 204, DG, TH b rechst Jasperstrasse 63 Frankfurt - Preungesheim	Bearbeiter:	
Datum der Messung:	15.02.2008	Auswertung:	12.06.08
Gebäudevolumen	177,6 m <sup>3</sup>	Ausrüstung:	Minneapolis Duct Blaster Series B
Gebäudehüllfläche	m <sup>2</sup>	Genauigkeit:	3 %
Außentemperatur	4,5 °C	Meereshöhe:	160 m
Innentemperatur	22,5 °C		
Luftdruck	mbar bzw.		

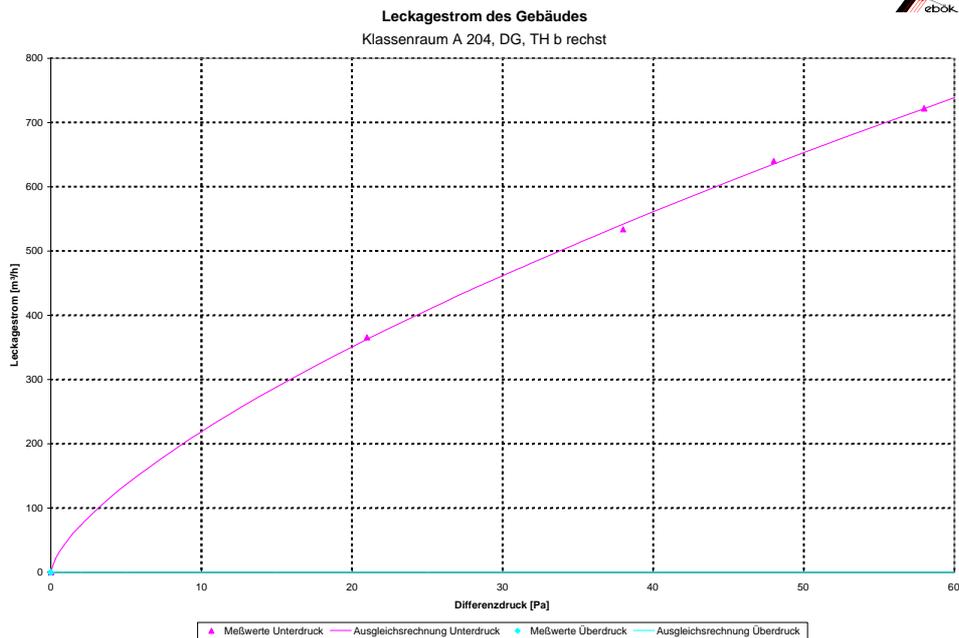
Bemerkungen

UNTERDRUCK				ÜBERDRUCK			
Differenzdruck am Gebäude	gemessener Druck am Gebläse	Volumenstrom-Reduzierung	Volumenstrom (unkorrigiert)	Differenzdruck am Gebäude	gemessener Druck am Gebläse	Volumenstrom-Reduzierung	Volumenstrom (unkorrigiert)
[Pa]	[Pa]		[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]	[Pa]		[m <sup>3</sup> /h]
58	117	1	761				
48	92	1	675				3
38	64	1	563				3
21	30	1	385				3

UNTERDRUCK				ÜBERDRUCK			
Ergebnis der Ausgleichsrechnung:							
Strömungsexponent		0,679		-		-	
Koeffizient		48,4 m <sup>3</sup> /(h*Pa)		-		m <sup>3</sup> /(h*Pa)	
Koeff. korrigiert		45,9 m <sup>3</sup> /(h*Pa)		0,0		m <sup>3</sup> /(h*Pa)	
Standardabweichung		6,1 m <sup>3</sup> /h		0,0		m <sup>3</sup> /h	
Kennwerte bei 50 Pa:							
Leckagestrom		653 m <sup>3</sup> /h		-		m <sup>3</sup> /h	
Luftwechsel		3,7 1/h		-		1/h	
Hüllflächenbezogen		-	m/h	-		m/h	

Mittelwerte aus Über- und Unterdruckmessung:				
Leckagestrom bei 50 Pa	V <sub>50</sub>	653	m <sup>3</sup> /h	
Luftwechselrate bei 50 Pa	n <sub>50</sub>	3,7	1/h	
Luftdurchlässigkeit bei 50 Pa	q <sub>50</sub>	-	m/h	
äquivalente Leckfläche bei 50 Pa	A <sub>50</sub>	326	cm <sup>2</sup>	= ( 18 cm <sup>2</sup> )



Nachfolgende Seiten beinhalten:

### **7.3 Thermografiebericht**

### **7.4 Aufstellungsvorschläge für die Lüftungsgeräte**

Eine Prüfung bezüglich Statik ist erforderlich!

### **7.5 Berechnungsblätter für U-Werte**

### **7.6 Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf aller Varianten und Gebäudeteile**

- Variante 1 Bestand Gas
- Variante 2a EnEV-30% Gas
- Variante 2b EnEV-30% Pellets
- Variante 3 PH Gas
- Variante 4 PH Pellets
- Variante 5 PH BHKW+Gas
- Variante 6 EnEV-30% Pellets und WRG
- Sporthalle
- Hausmeister
- IPI-Bau
- Übrige Gebäudeteile (Singsaal, WC, Pavillon („Baracke“))

### **7.7 Merkblatt zu Lüftung in Schulen**

### **7.8 Prüfbericht über Fassaden-Halteanker**



Ingenieurbüro  
Schellingstraße 4/2  
D-72072 Tübingen  
Telefon 0 70 71 93 94 0  
Telefax 0 70 71 93 94 99  
mail@eboek.de  
www.eboek.de

# Thermografiebericht

Carlo-Mierendorff-Schule  
Frankfurt - Preungesheim

Erstellt im:	Juni 2008
im Auftrag von:	Hochbauamt Frankfurt am Main Gerbermühlstr. 48 60594 Frankfurt
Bearbeitung:	Dipl.-Phys. Thomas Kirtschig

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Allgemeine Angaben.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Untersuchungsmethode.....</b>	<b>1</b>
2.1 Beschreibung der Messung .....	1
2.2 Beurteilung von Thermografieaufnahmen.....	2
<b>3 Thermografieaufnahmen .....</b>	<b>3</b>
<b>4 Bewertung .....</b>	<b>25</b>
<b>5 Anhang.....</b>	<b>26</b>
5.1 Lageplan und Bauteilbezeichnungen .....	26

# 1 Allgemeine Angaben

## Aufgabenstellung

Thermografie von außen zur Untersuchung und Dokumentation der thermischen Gebäudehülle vor der Sanierung von Bauteil A, B und a-d (Bauteilbezeichnungen s. Lageplan im Anhang).

## Untersuchtes Objekt

Corlo-Mierendorff-Schule  
Jasperstrasse 63  
Frankfurt a.M. – Preungesheim

## Datum der Untersuchung

15. Feb. 2008

## Anwesende Personen

Herr Güth (Architekt)  
Herr Brose, Ingenieurbüro ebök  
Thomas Kirtschig, Ingenieurbüro ebök.

# 2 Untersuchungsmethode

## 2.1 Beschreibung der Messung

### Wetterbedingungen und bauliche Randbedingungen

Innentemperatur:	Bauteil A: 22-23°C Bauteil B: 22,5-25°C Bauteile a-d: 21,5-22°C Bedürfnisanstalt: 18-22°C Nebengebäude: ca. 22°C
Außentemperatur:	3,5-4,5°C
Windgeschwindigkeit:	0-1 Beaufort
Bewölkung:	ca. 25%
Bauteilaufbauten:	s. Bericht zum Energiekonzept

Beheizung: WW-Radiatoren  
Lüftung: Fensterlüftung

## 2.2 Beurteilung von Thermografieaufnahmen

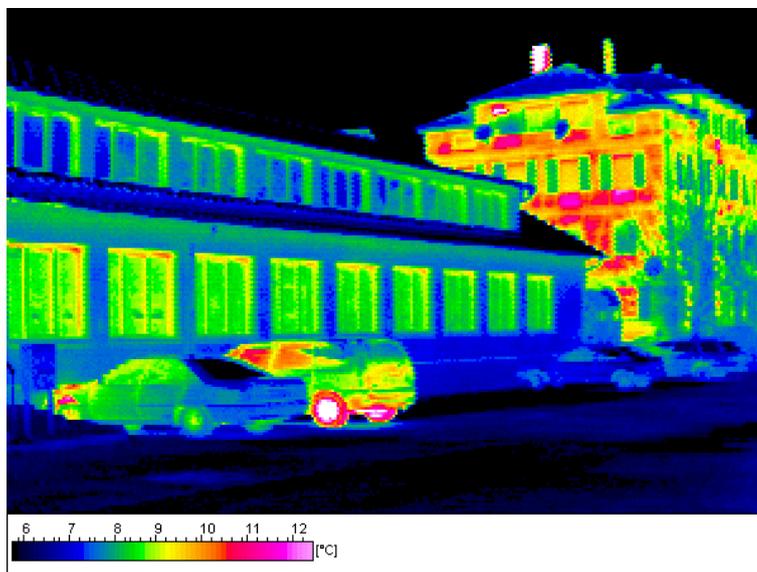
Die Thermografiekamera registriert die Intensität der von einer Oberfläche ausgehenden Wärmestrahlung. Bei den meisten Baumaterialien, insbesondere z.B. bei mineralischem Putz, zeigt die Intensität der Wärmestrahlung die Oberflächentemperatur an. Jeder Intensität und somit jeder Oberflächentemperatur wird im Bild eine Farbe zugeordnet. Die Temperaturskala von schwarz und blau (kalt) über grün und gelb zu rot und weiß (warm) ist bei jedem Bild dargestellt.

Beim Vergleich verschiedener Aufnahmen ist zu beachten, dass die gewählten Temperaturskalen verschieden sein können. Gleiche Farben entsprechen also nicht immer den gleichen Temperaturen.

Bei sonst gleichen Bedingungen hängt die Oberflächentemperatur vom Wärmestrom durchs Bauteil ab. Je größer der Wärmestrom, desto höher die Außenoberflächentemperatur und desto niedriger die Innenoberflächentemperatur. Wärmebrücken sind deshalb von außen als warme (rote oder sogar weiße) Bereiche zu erkennen.

Außer vom Wärmestrom durchs Bauteil hängt die Oberflächentemperatur auch davon ab, wie viel Wärmestrahlung von umliegenden Oberflächen aufs Bauteil trifft. Dem Nachthimmel zugewandte Flächen sind deshalb kälter als solche, die anderen Bauwerken oder dem Boden zugewandt sind.

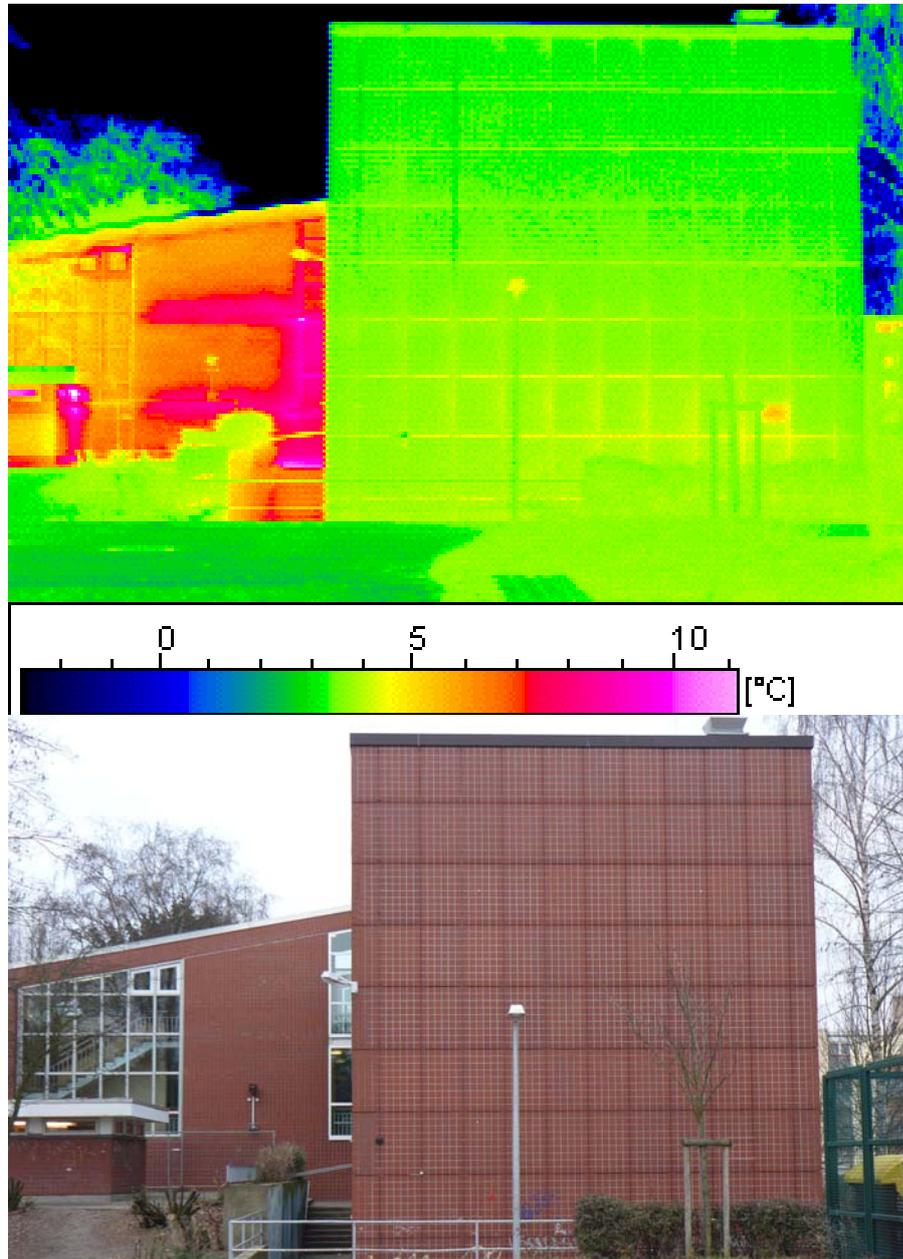
Manche Materialien, z.B. Glas und blanke Metalle, spiegeln einen Teil der Wärmestrahlung. Die angegebenen Temperaturen entsprechen in diesen Fällen nicht den Oberflächentemperaturen.



Beispielaufnahme: Bei dem im Passivhausstandard sanierten Gebäude links sind kaum Strukturen zu erkennen, der nicht sanierte Altbau im Hintergrund weist große Farbunterschiede auf.

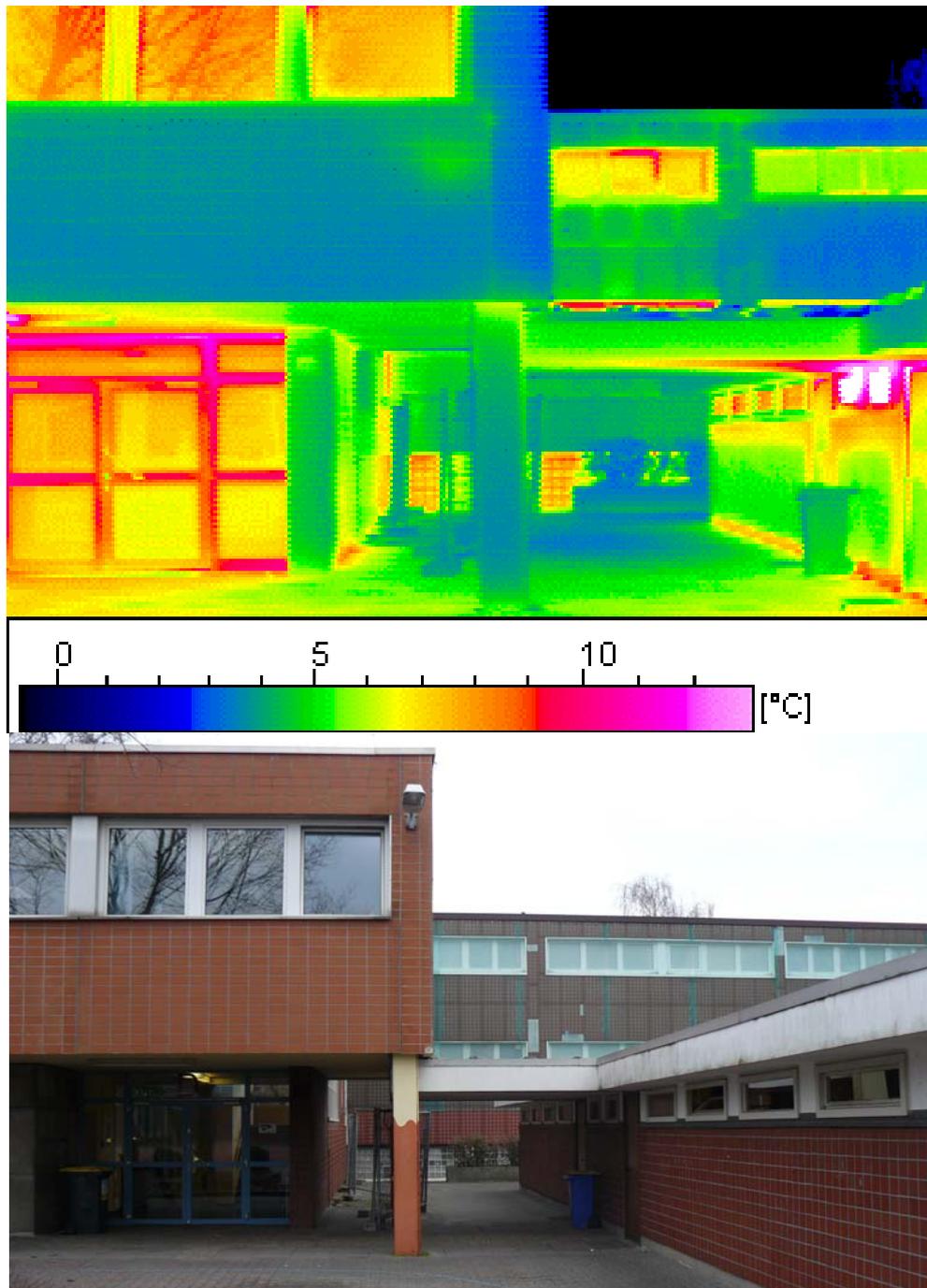
### 3 Thermografieaufnahmen

#### Ostfassade Bauteil A, d und Nordseite Bedürfnisanstalt



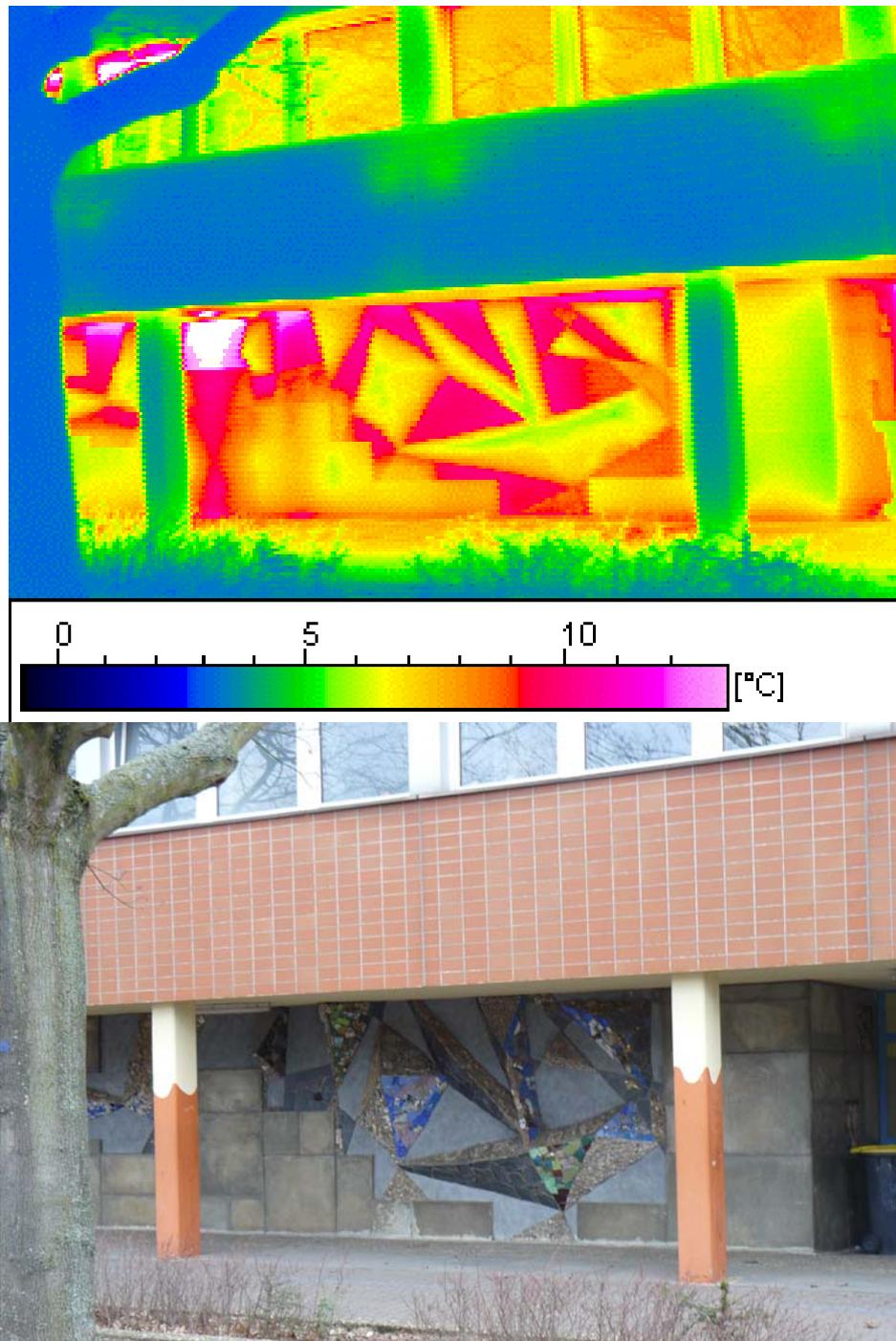
An den ungedämmten Wänden von Bauteil d sind in der Thermografie die Heizkörper von außen deutlich zu erkennen. Die vorgehängte Fassade am Bauteil A ist hinterlüftet, dies schränkt die Beurteilung des Wärmeschutzes stark ein. Rechts unten ist die Dämmschicht vermutlich unterbrochen. Die Nordseite der Bedürfnisanstalt ist warm, weil auch hier ein Heizkörper steht und der Wärmeschutz der Wand sehr schlecht ist.

### Südfassade Bauteil A, B, d, Westwand Bedürfnisanstalt



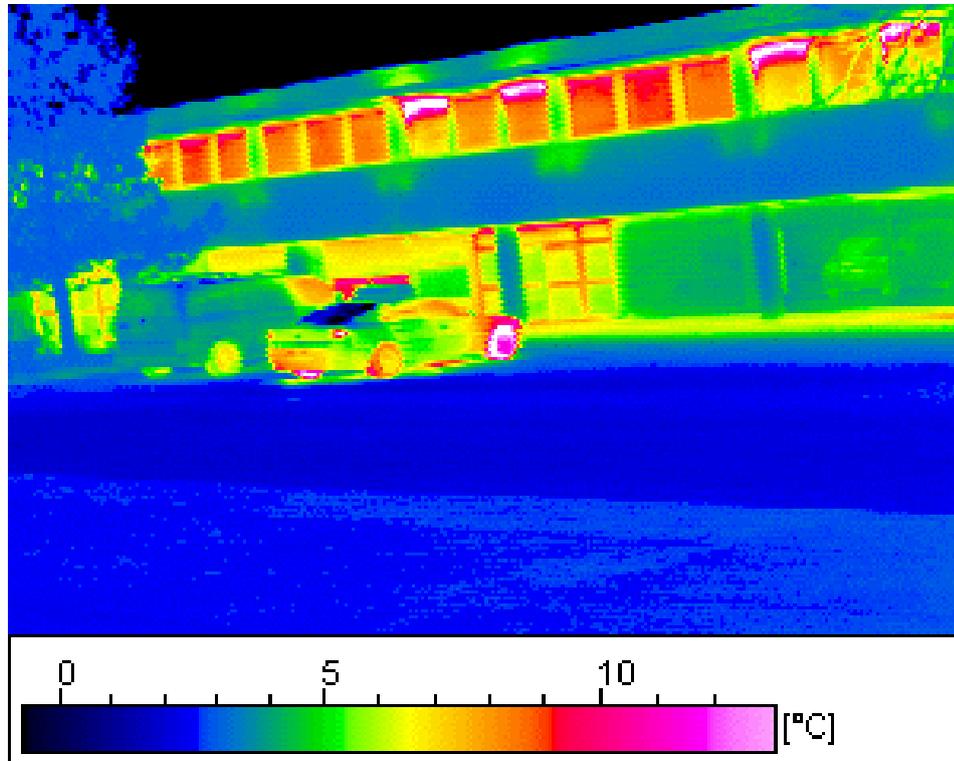
Sehr auffällig ist der Eingangsbereich unter Bauteil B (links im Bild), die Glasbausteine im UG von Bauteile A und die (vermutlich) unterschiedliche Beheizung der Klassenräume im OG von Bauteil A (dies ist nur bei schlechtem Wärmeschutz so deutlich sichtbar). An der Bedürfnisanstalt sind 2 Fenster gekippt. Die Wand von Bauteil B ist hinterlüftet und daher schlecht zu beurteilen.

### Südfassade Bauteil B (Kunstwerk)



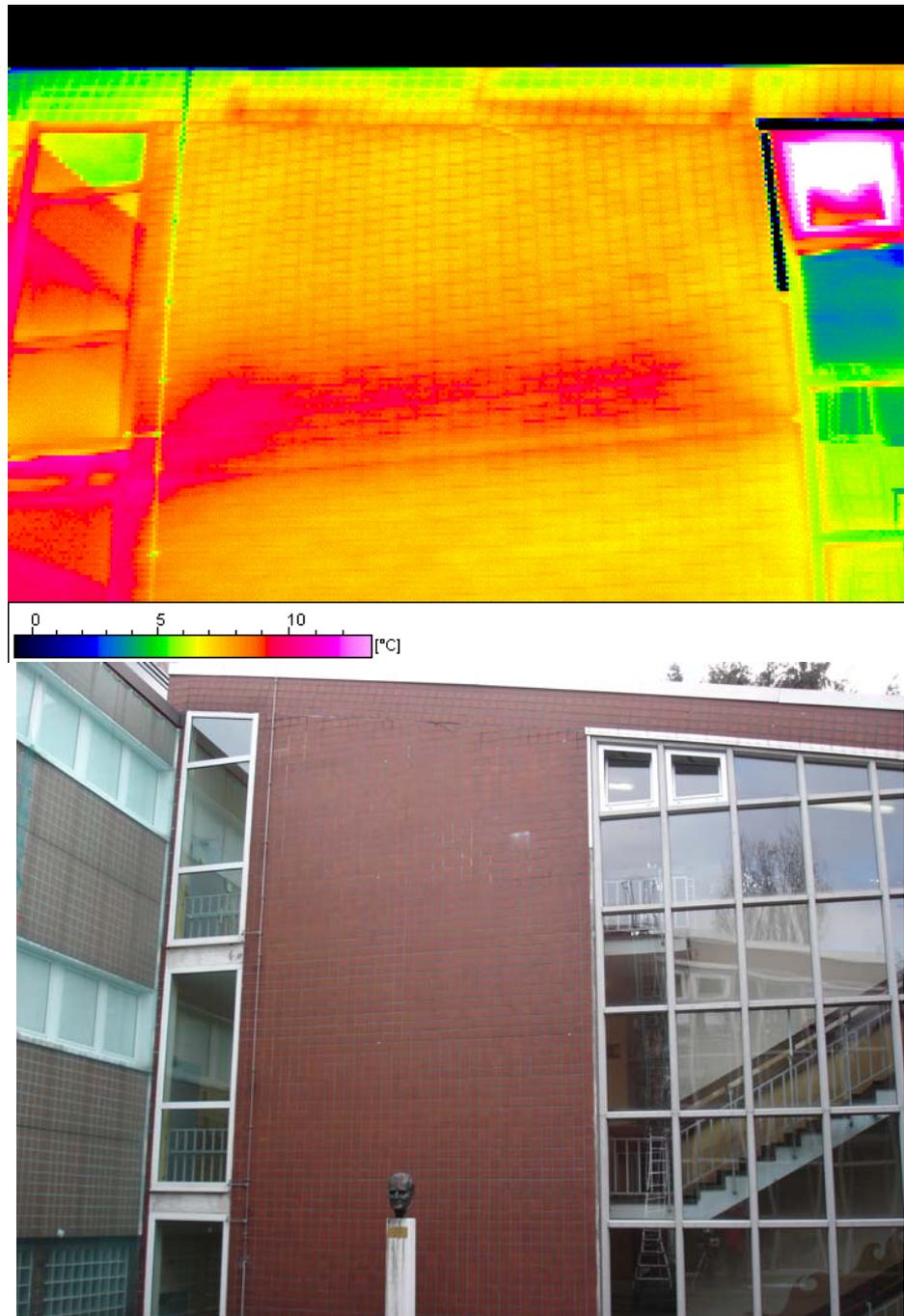
Die Wand mit dem Relief ist ungedämmt. Eine passivhaustaugliche Sanierung wäre höchstens mit Innendämmung möglich und müsste bauphysikalisch dann genau untersucht werden. Auffällig sind auch die grünen Stellen an der OG-Fassade, bei denen die vorgehängte Fassade vermutlich befestigt ist.

### Südfassade Bauteil B



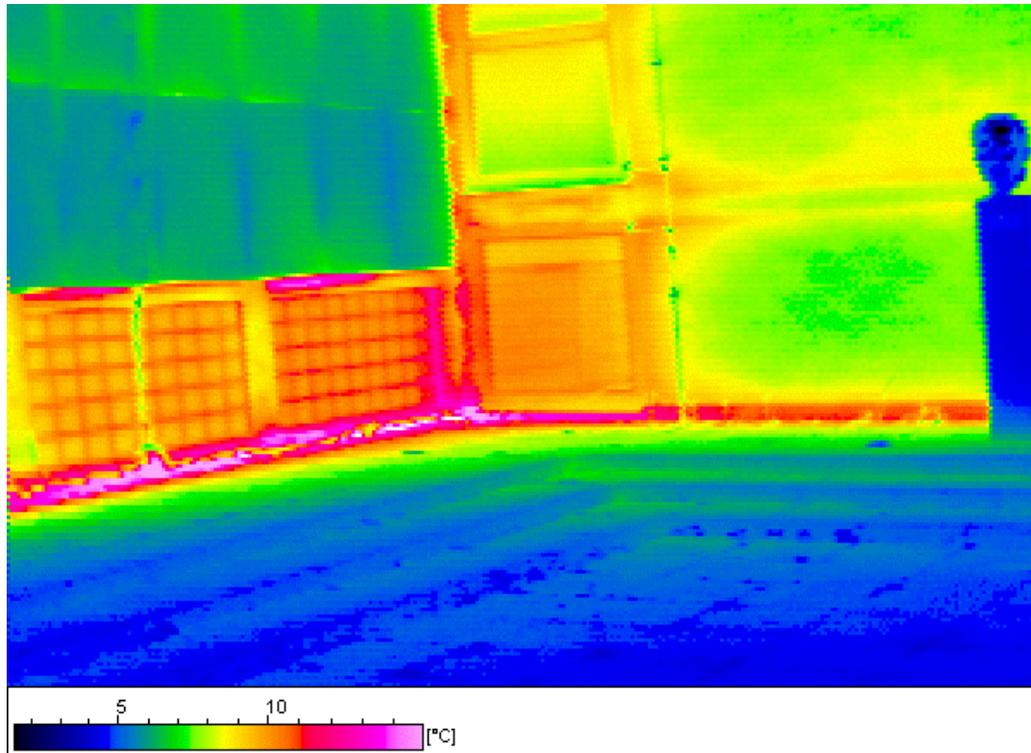
Auffällig sind wieder die Fassadenbefestigungen und die gekippten Fenster (daher auch die wärmeren Sturzbereiche über den Fenstern).

**Innenhof Mitte, Bauteil c**



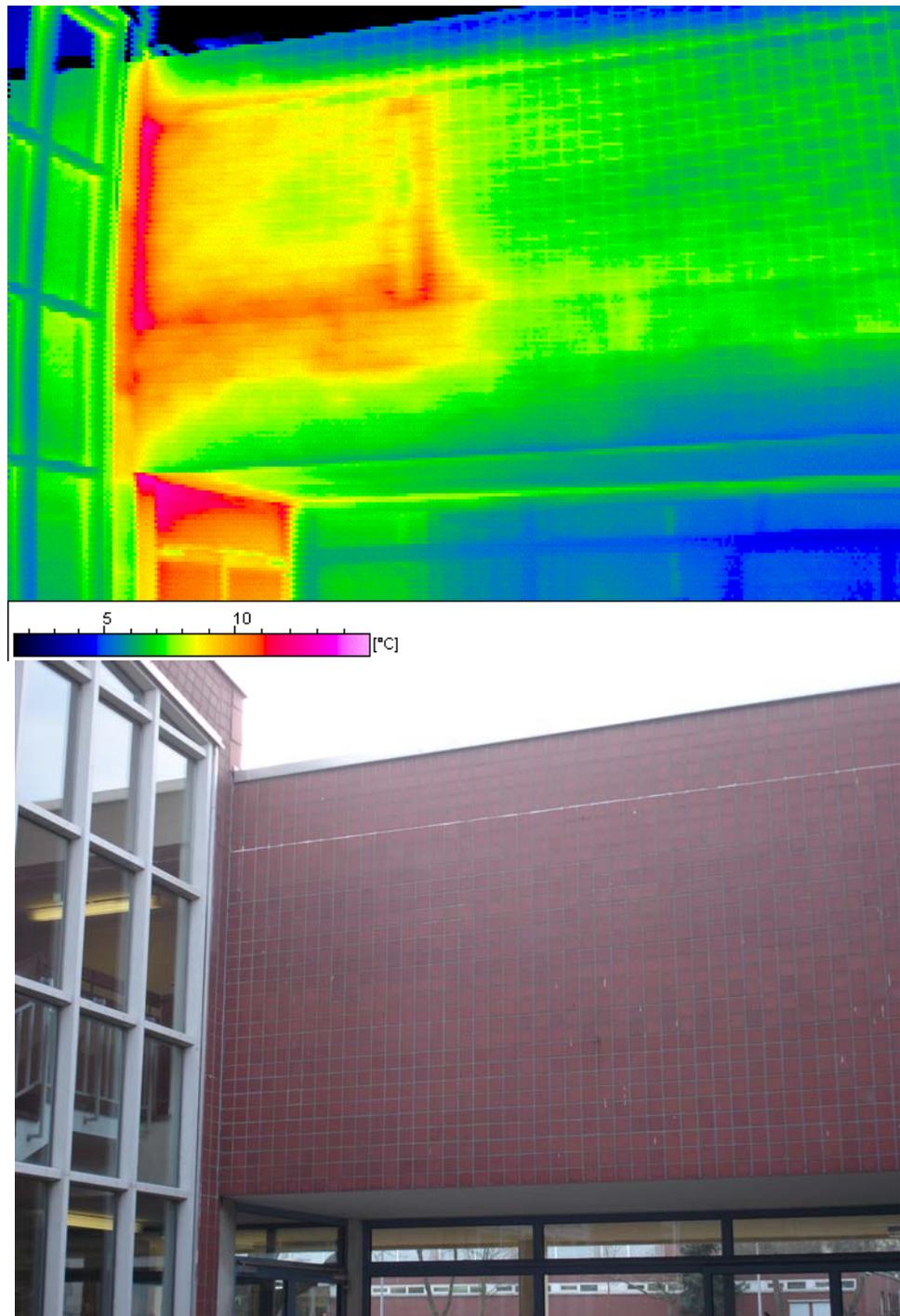
Deutlich zu erkennen die Heizkörper hinter der ungedämmten Wand. Oben rechts gekippte Fenster.

### Innenhof Mitte, Bauteil c und A



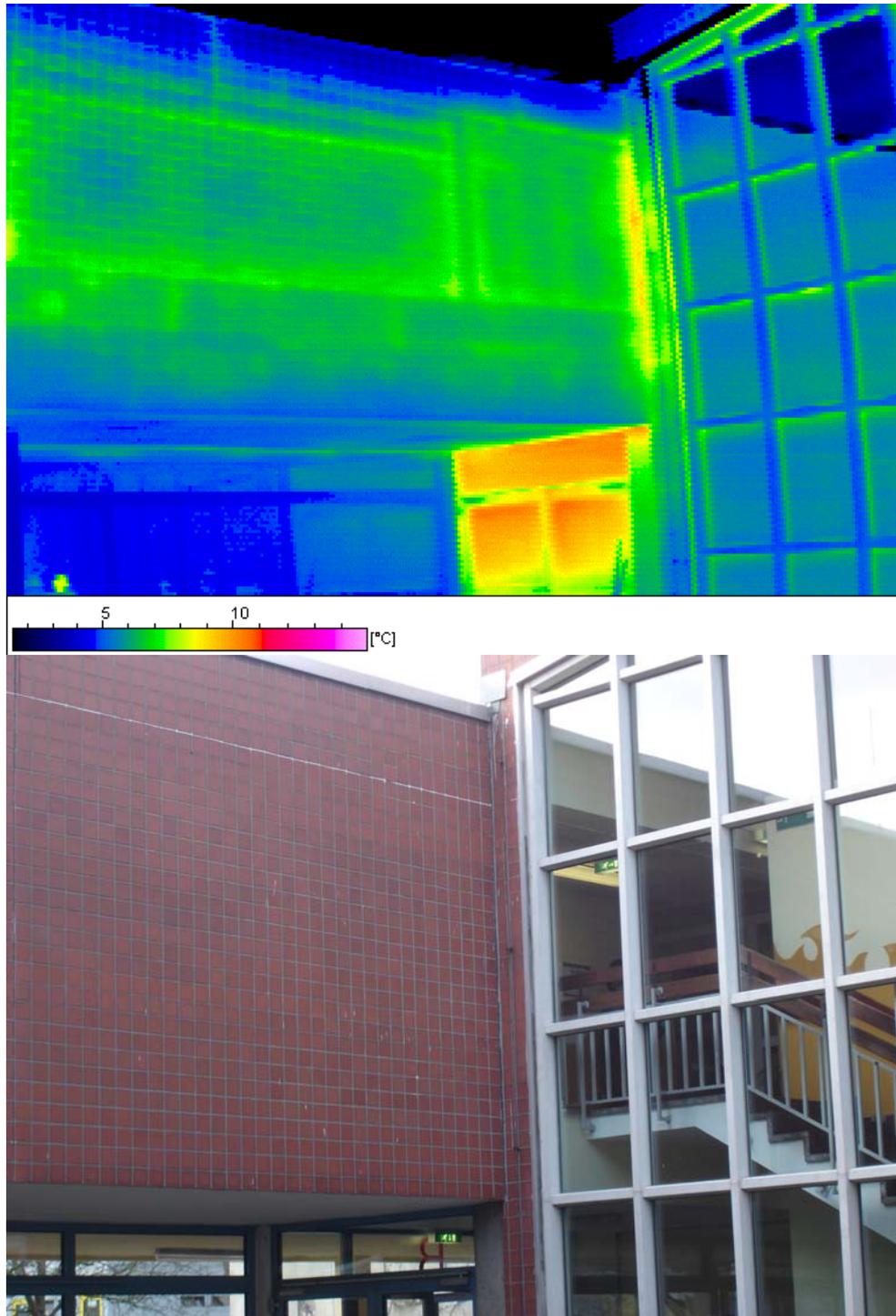
Auffällig ist die wärmetechnisch schlechte Qualität der Glasbausteine und die „Zwangs“- Entlüftungsöffnungen darüber.

### Innenhof Mitte, Bauteil B und c



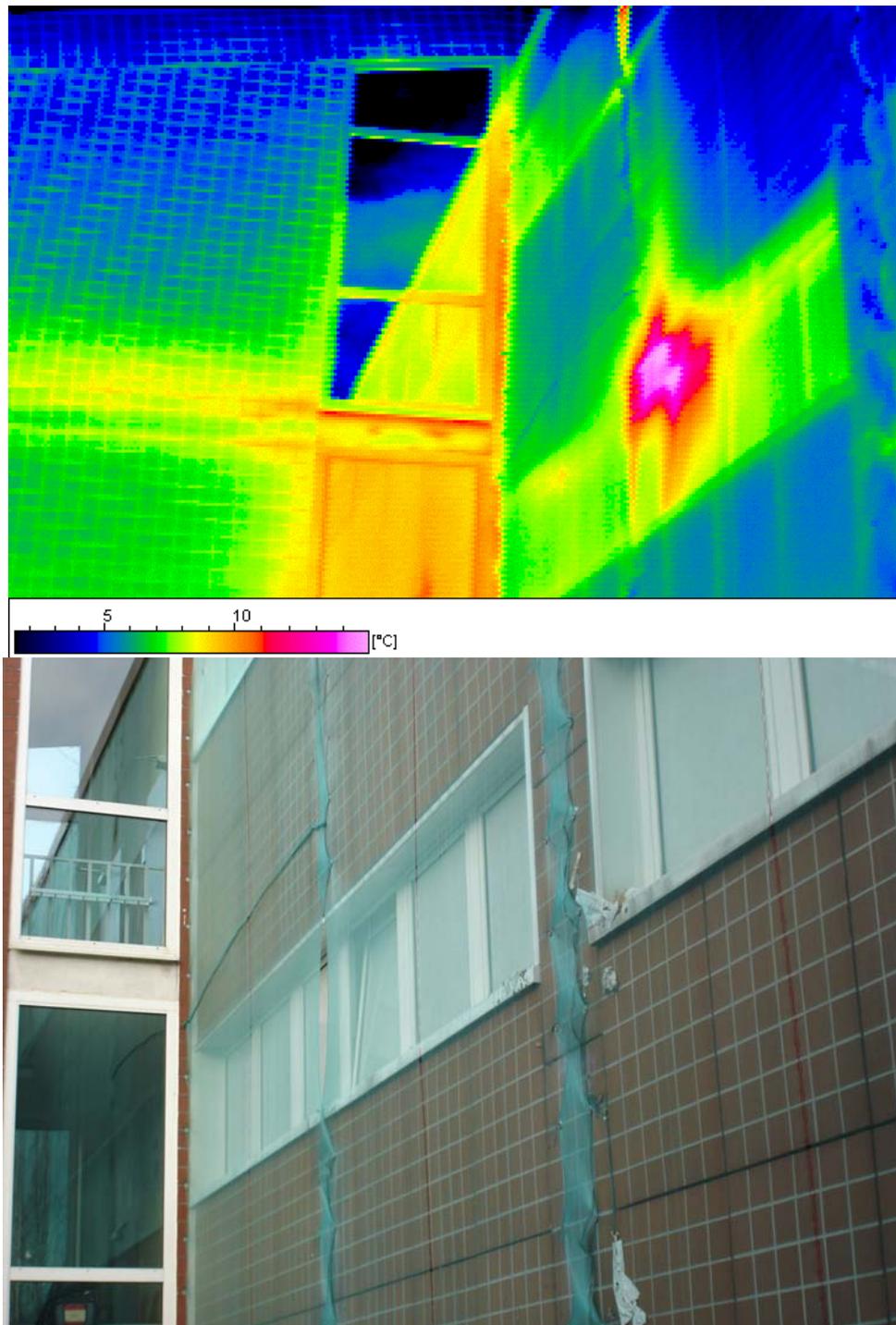
Auch an der ungedämmten Nordseite von Bauteil B ist der Heizkörper in der Thermografie deutlich zu erkennen. Unter Bauteil B hebt sich der Eingangsbereich zum beheizten Bereich stark ab (links unten im Bild).

**Innenhof Mitte, Bauteil B und b**



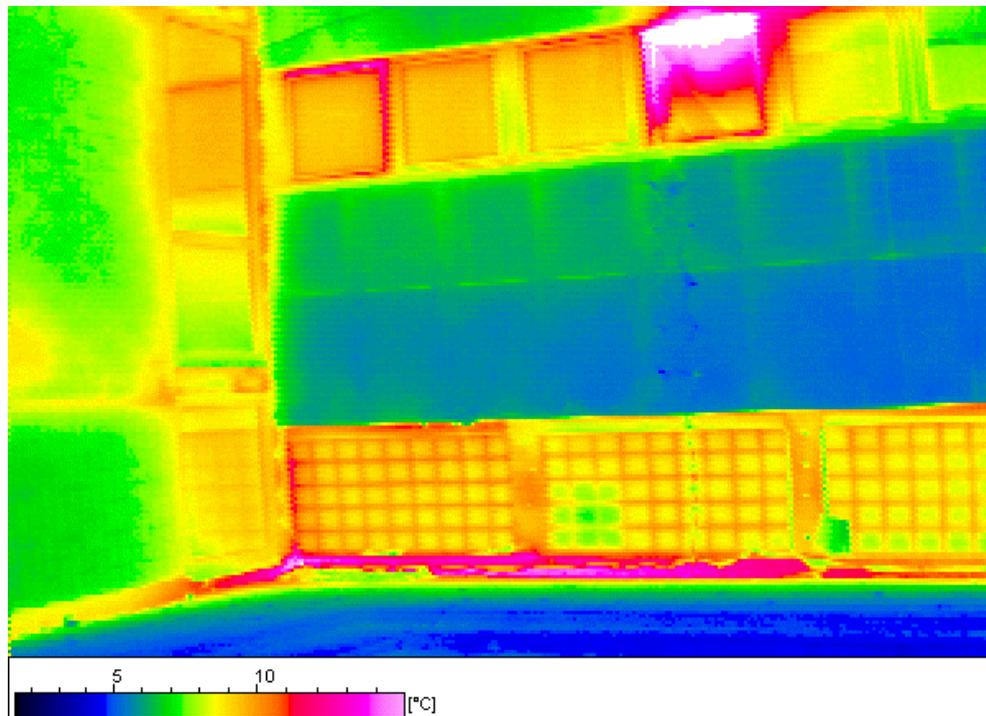
Wie in der vorigen Thermografie. Der beheizte Bereich im OG hebt sich auch ohne Heizkörper deutlich ab.

### Innenhof Mitte, Bauteil b und A



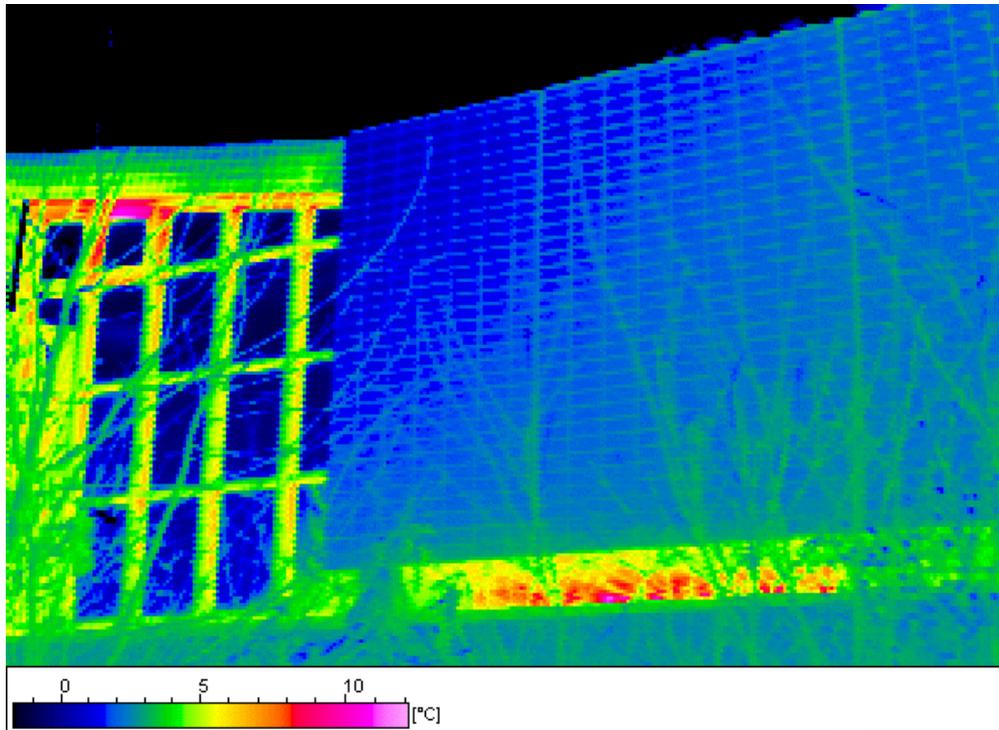
Der rote Fleck in der Thermografie ist ein gekipptes Fenster hinter dem Schutznetz. Im Treppenhausfenster im OG ist wieder die Reflektion an den Scheiben deutlich zu erkennen, weshalb diese in der Thermografie kaum zu beurteilen sind.

## Innenhof Mitte, Bauteil b und A



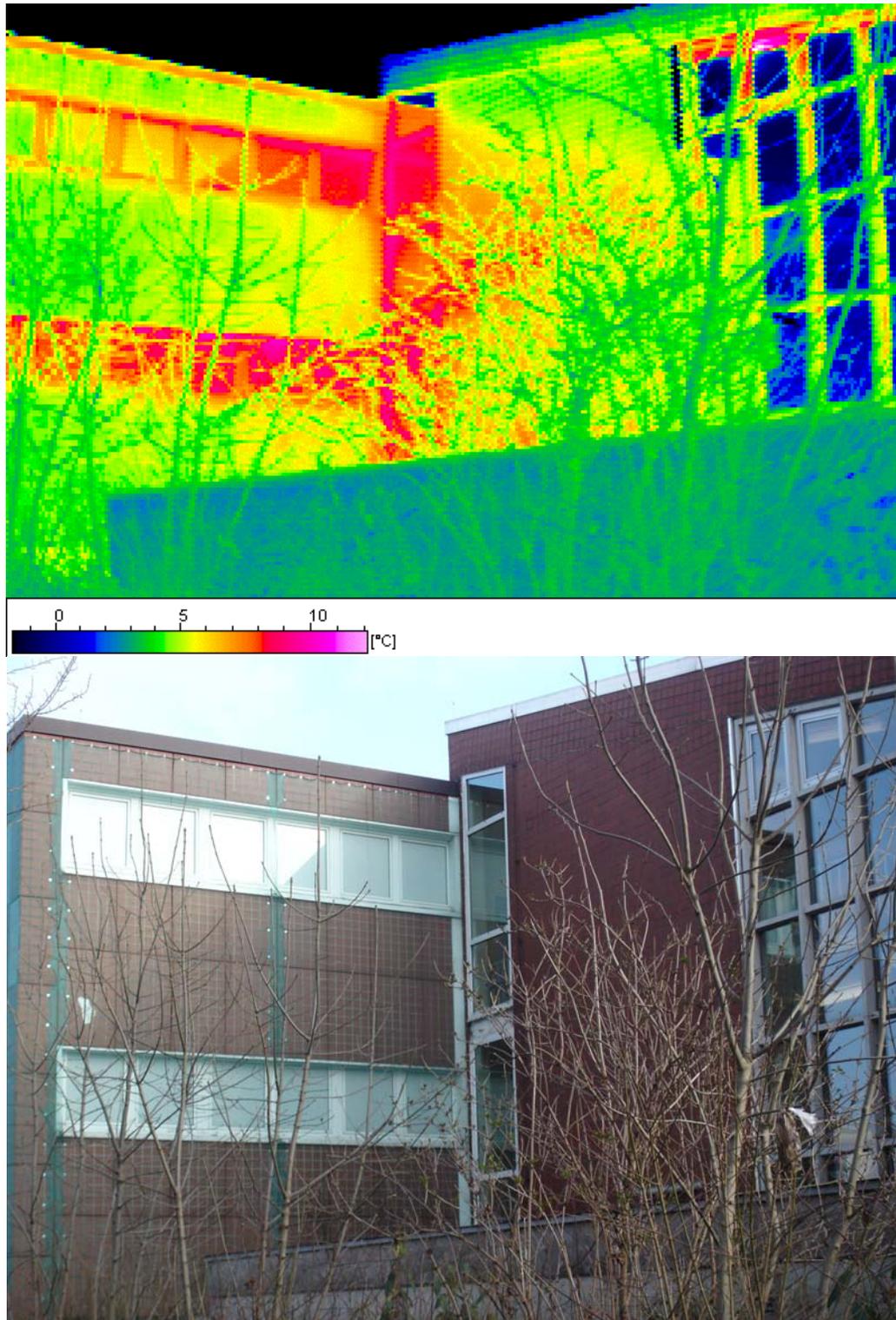
Auffällig sind hier die etwas kälteren Glasbausteine in der unteren Bildmitte. Evt. wurden diese Steine einmal ausgewechselt und haben eine etwas bessere thermische Qualität.

**Westfassade Bauteil B und a:**



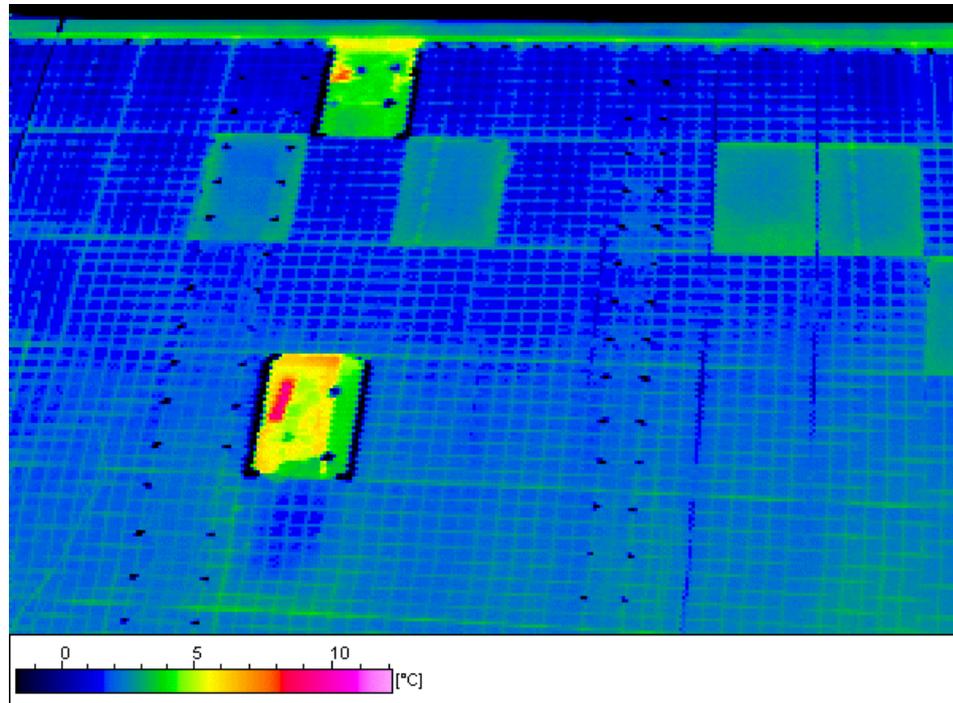
Oben links am Treppenhausfenster sind vermutlich Luftundichtigkeiten vorhanden.

### Sudfassade Bauteil A und Westfassade Bauteil a



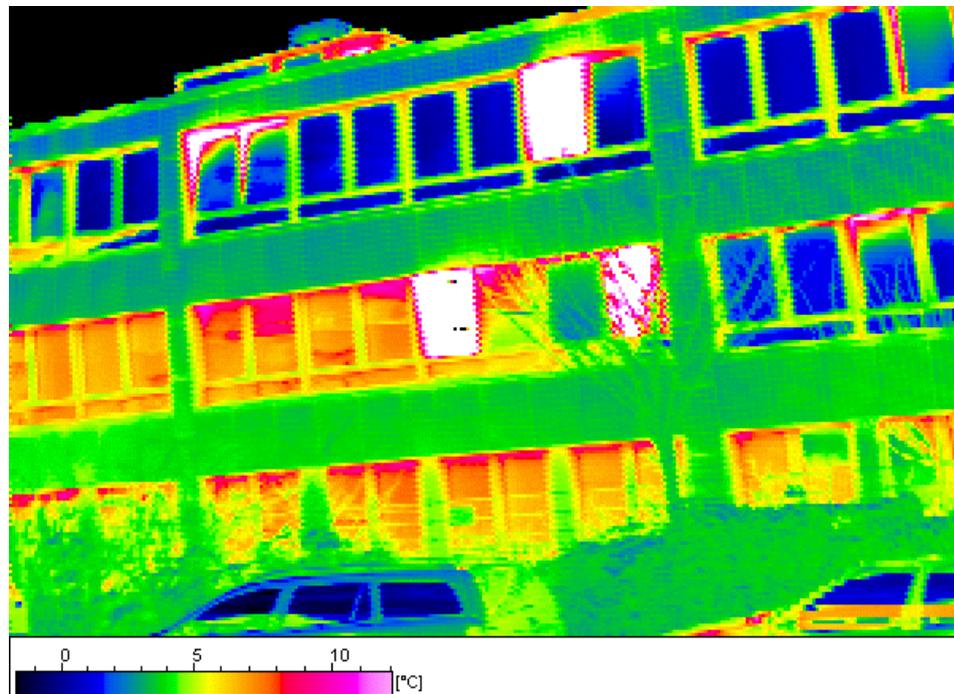
Auch hier fällt wieder der warme Wandbereich mit Heizkörper ins Auge.

## Westfassade Bauteil A



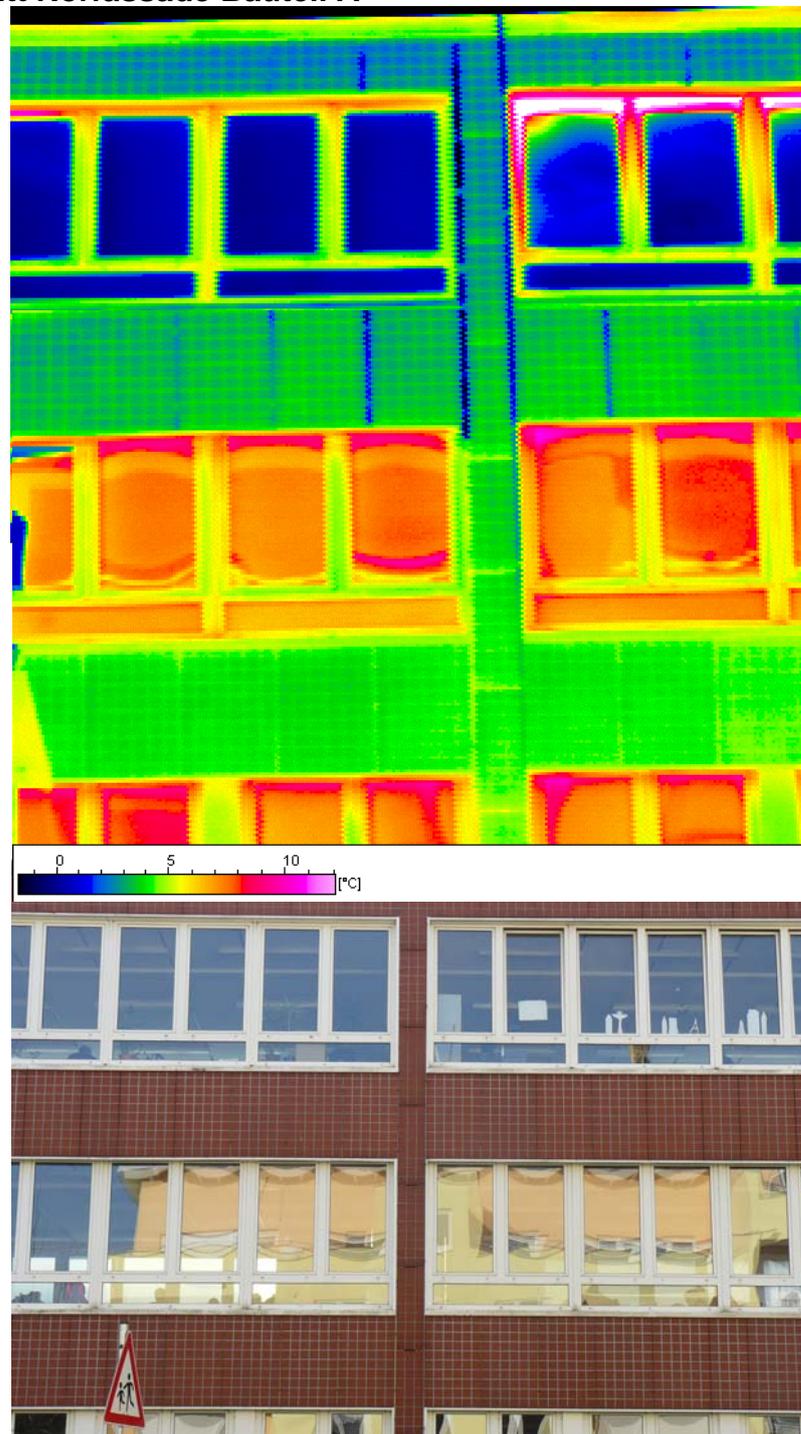
Die Bereiche ohne Kacheln haben andere Oberflächeneigenschaften und sind deshalb in der Thermografie sichtbar. An den Bereichen mit abmontierten Fassadenplatten wurde teilweise auch die Wärmedämmung entfernt.

## Nordfassade Bauteil A



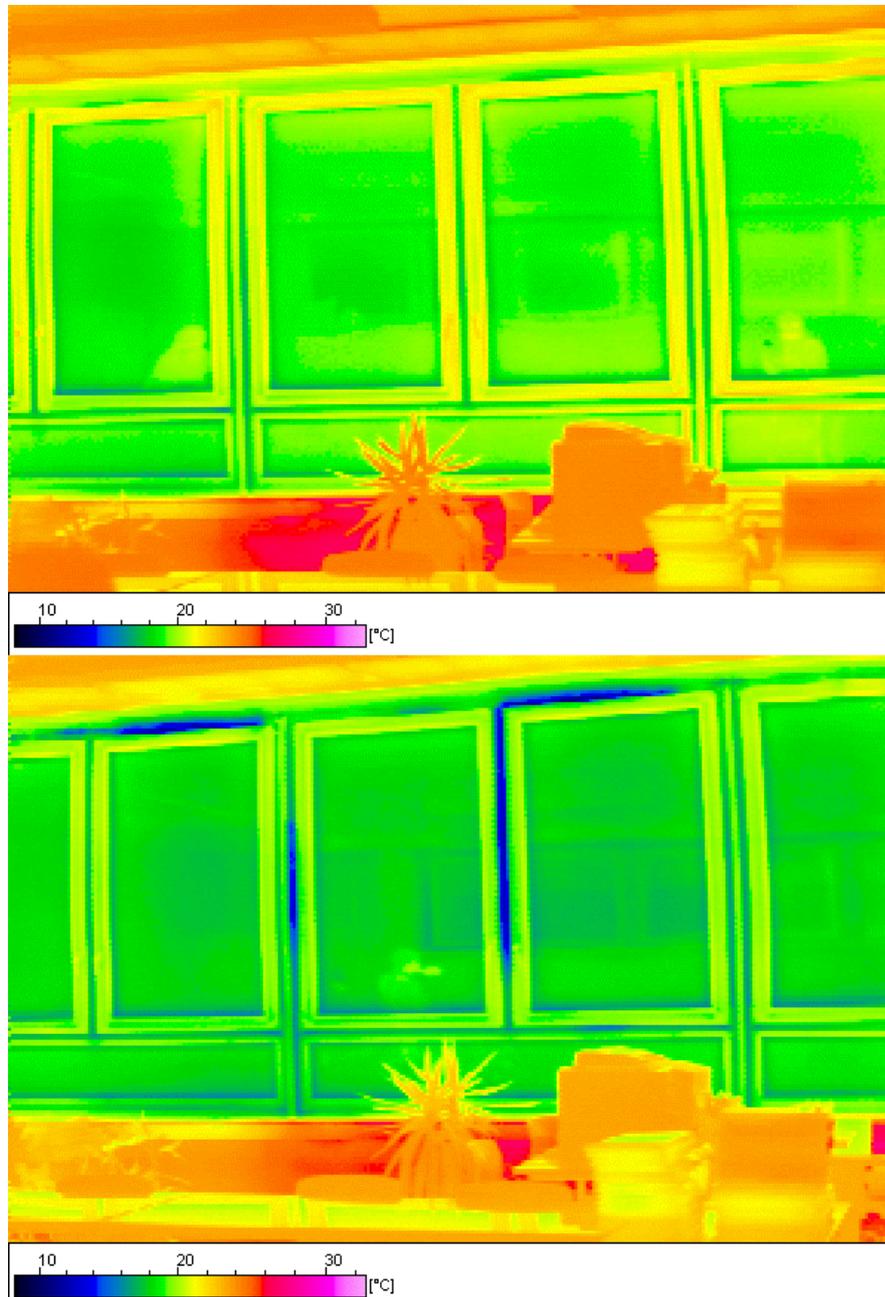
Auffallend sind natürlich die zur Lüftung geöffneten Fenster. Der Überbau auf dem Dach scheint (vermutlich unnötigerweise) ebenfalls beheizt zu werden. Dies sollte im Zuge der Sanierung geprüft werden.

### Ausschnitt Norfassade Bauteil A

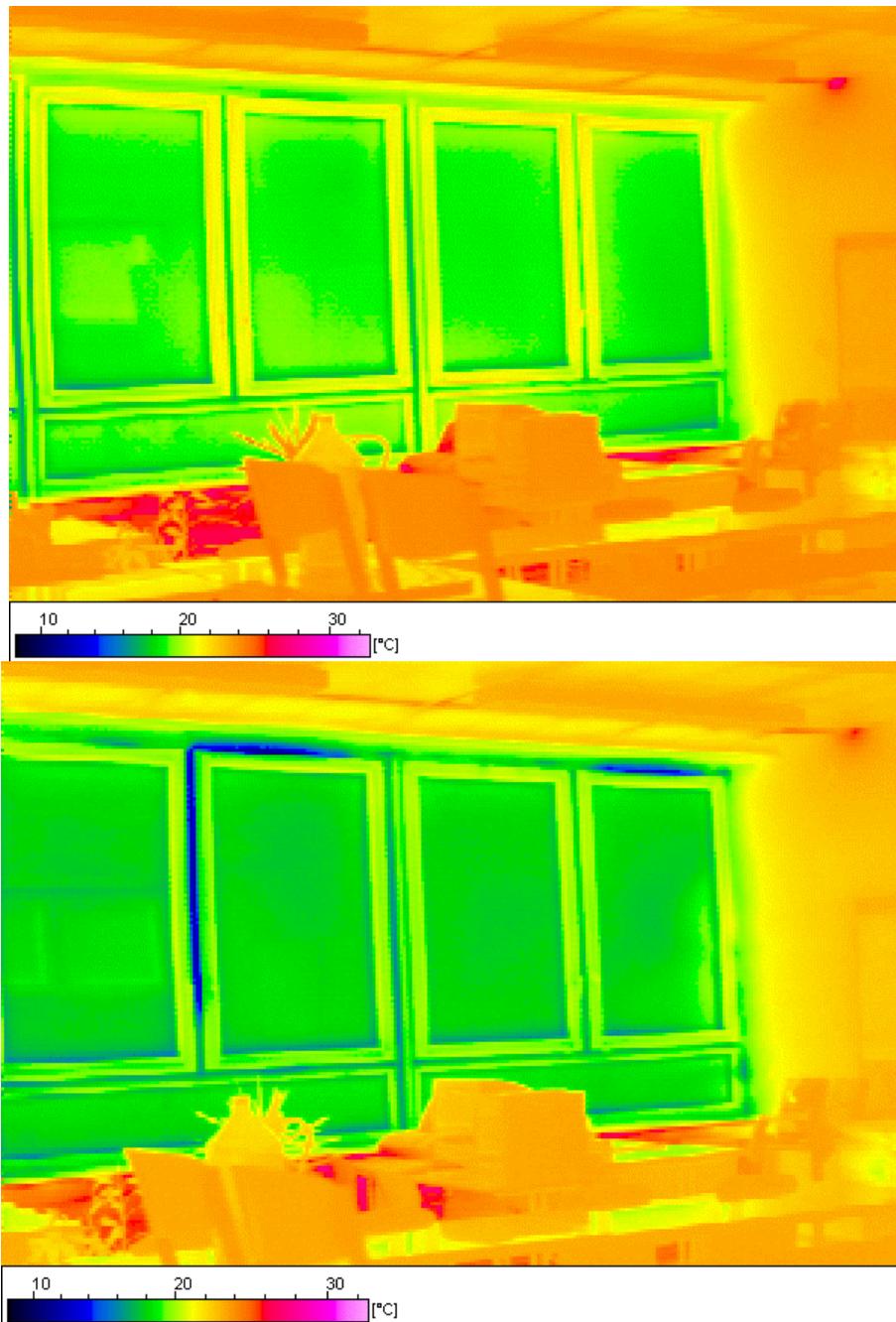


Auffällig sind die kälteren Fugen zwischen den vorgehängten Fassadenteilen (blau). Vermutlich hängt dies mit der stärkeren Reflektion des kalten Himmels am Metall zwischen den Fugen zusammen und ist bauphysikalisch nicht relevant (die unterschiedlichen Spiegelungen sind auch an den Fenster zwischen OG1 und OG2 deutlich sichtbar; das abschattenden Haus gegenüber ist im optischen Bild erkennbar). Die Fenster rechts oben sind / waren gekippt.

## Unterdruckthermografie von innen Klassenraum DG am Treppenhause b rechts; Nordfenster

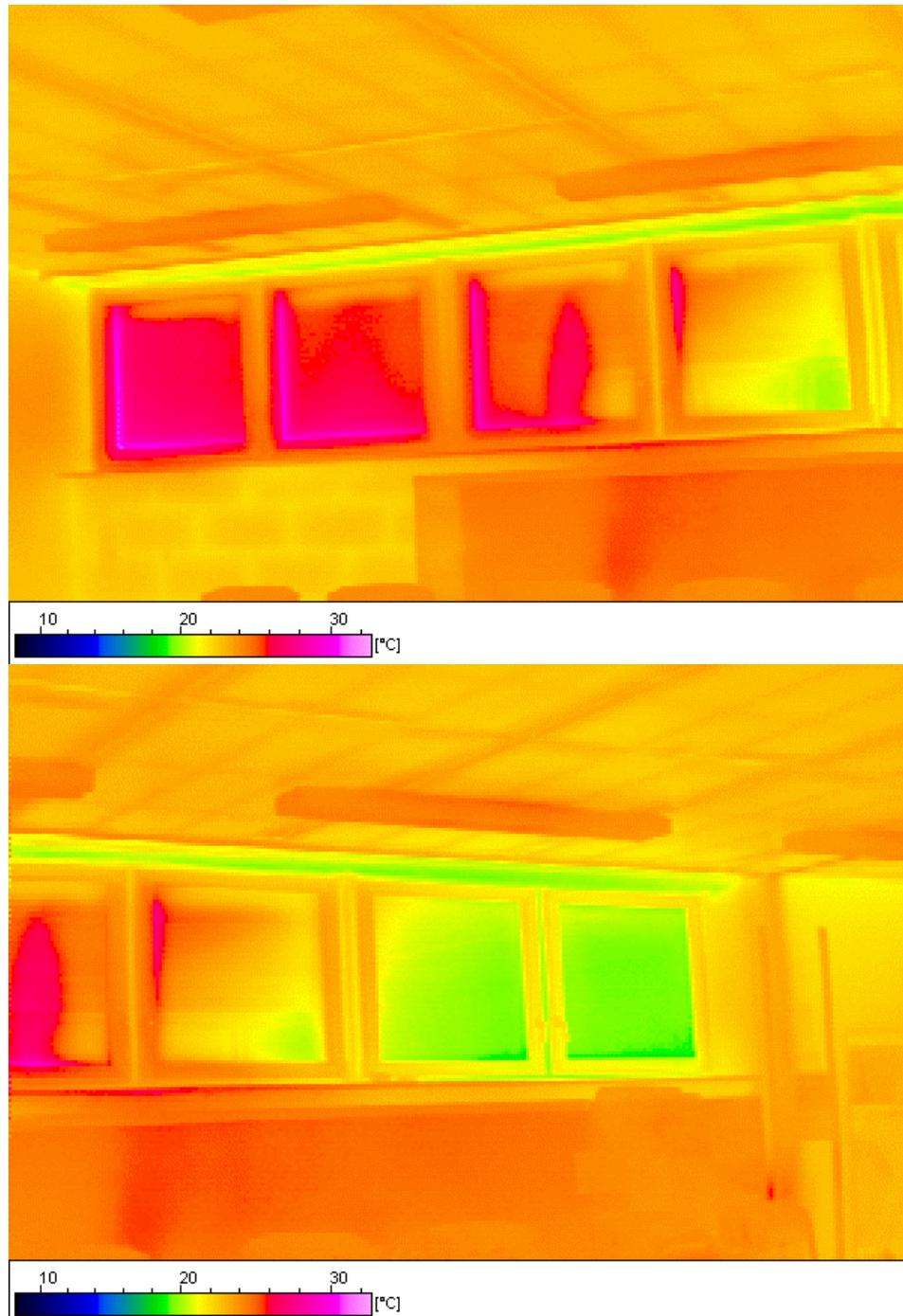


Das obere Bild zeigt die Nordfenster vor dem Drucktest, das untere Bild während des Drucktests. An den (geschlossenen) Fensteröffnungsfugen ist eine deutliche Abkühlung wegen Luftinfiltrationen erkennbar.

**Unterdruckthermografie: Klassenraum DG am Treppenhaus b rechts**

Wie auf der vorigen Seite. Die Undichtigkeiten an den Fenster der Nordseite treten regelmäßig auf.

### Unterdruckthermografie von innen Klassenraum DG am Treppenhause b rechts; Südfenster

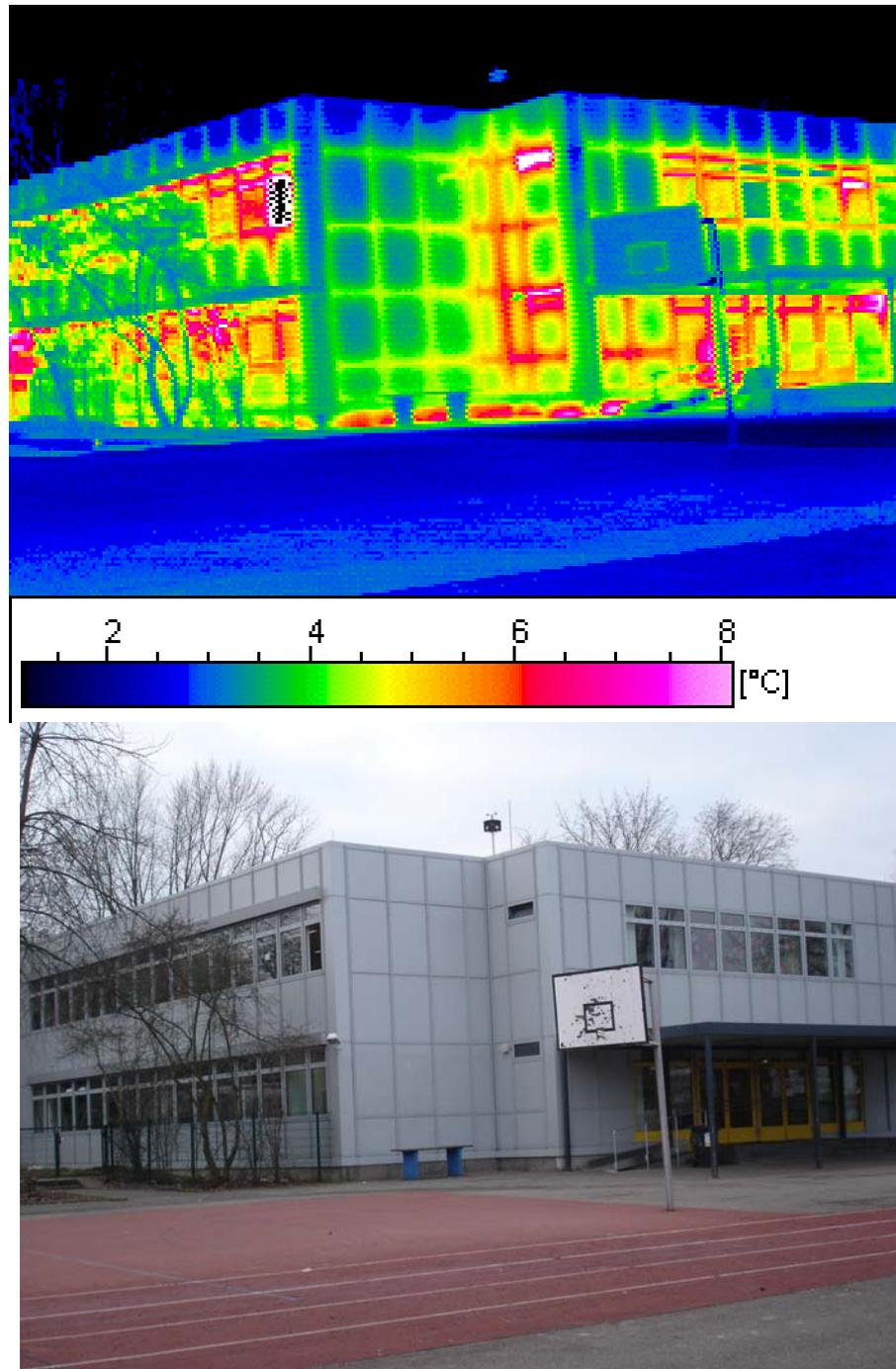


Die (kleineren) Südfenster weisen in diesem Klassenraum keine Undichtigkeiten auf.

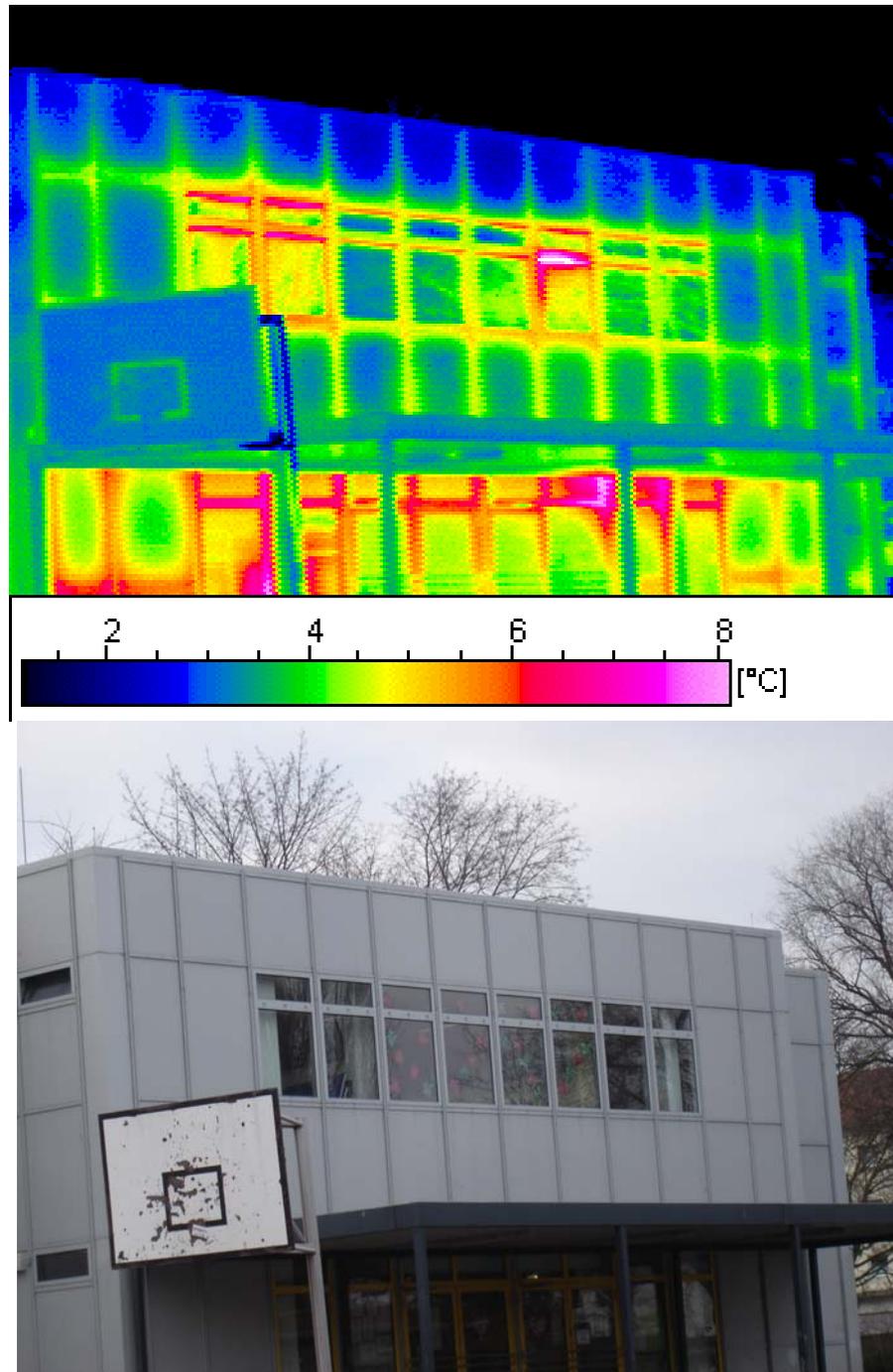
## Klassenraum DG am Treppenhaus b rechts



Optische Fotos der Nordfenster (oben) und Südfenster (unten).

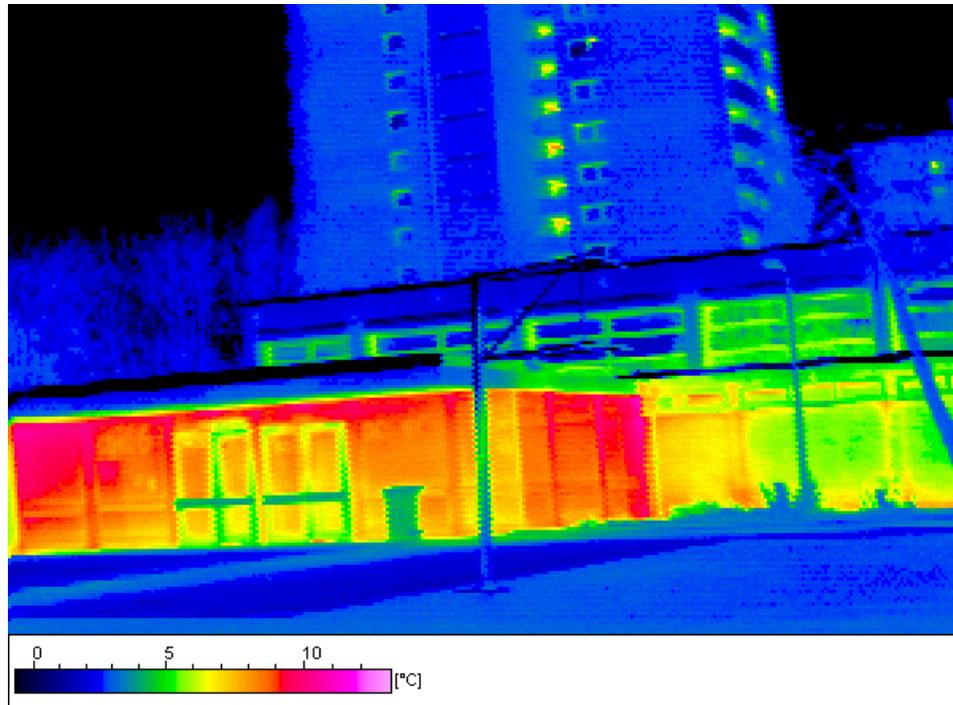
**IPI-Bau : Nord- und Ostfassade**

Auffällig ist das Pfosten-Riegel-Bausystem des IPI-Baues. Die Metallkonstruktion stellt eine starke, regelmäßige Wärmebrücke dar. Felder ohne Wärmedämmung sind hier nicht aufgefallen. Geöffnete und gekippte Fenster sind erkennbar.

**IPI-Bau: Nordfassade**

Wie vorige Seite. An einigen Fenster könnten Undichtigkeiten vorhanden sein. Dies könnte mit Hilfe einer Luftdichtigkeitsmessung für alle Fenster geprüft werden.

### Sporthalle: Eingangsbereich nord



Sehr starke Wärmeverluste an der Einfachverglasung des Eingangsbereiches.

## 4 Bewertung

Die Thermografie zeigt an vielen Stellen den schlechten Wärmeschutz der Gebäudehüllen. Wärmebrücken spielen (außer bei dem IPI-Bau) im derzeitigen Zustand eine untergeordnete Rolle. Eine flächige Verbesserung des Wärmeschutzes ist erforderlich.

Mithilfe einer Unterdruckthermografie wurden Undichtigkeiten vor allem an den Nordfenstern in einem Klassenraum festgestellt.

Am IPI-Bau könnten Undichtigkeiten an einigen Fenster vorhanden sein, die evt. durch richtiges Einjustieren oder neue Dichtungen behoben werden könnten. Die Dichtigkeit der Gebäudehülle des IPI-Baus könnte durch einen Blowerdoortest geprüft werden.

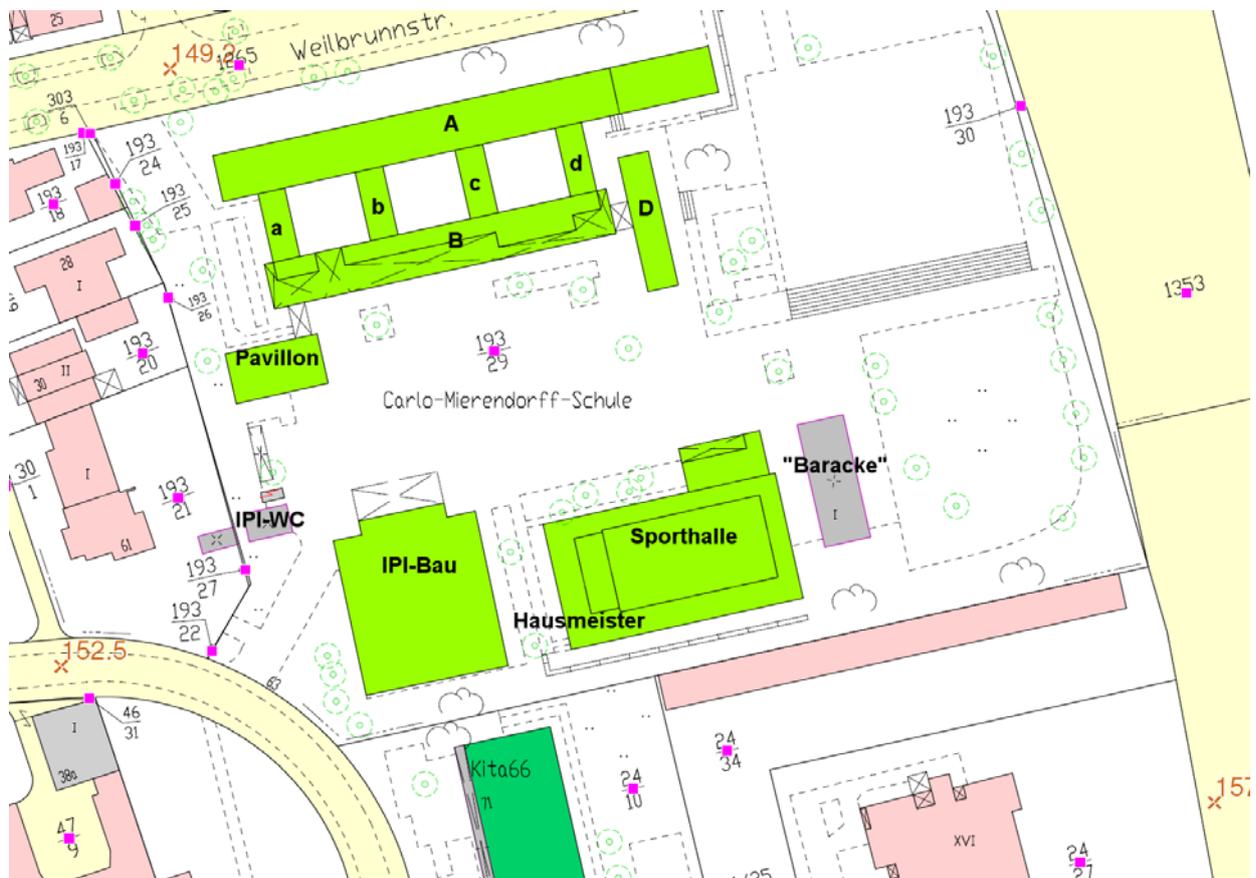
Tübingen, den 12.06.2008

Ingenieurbüro ebök

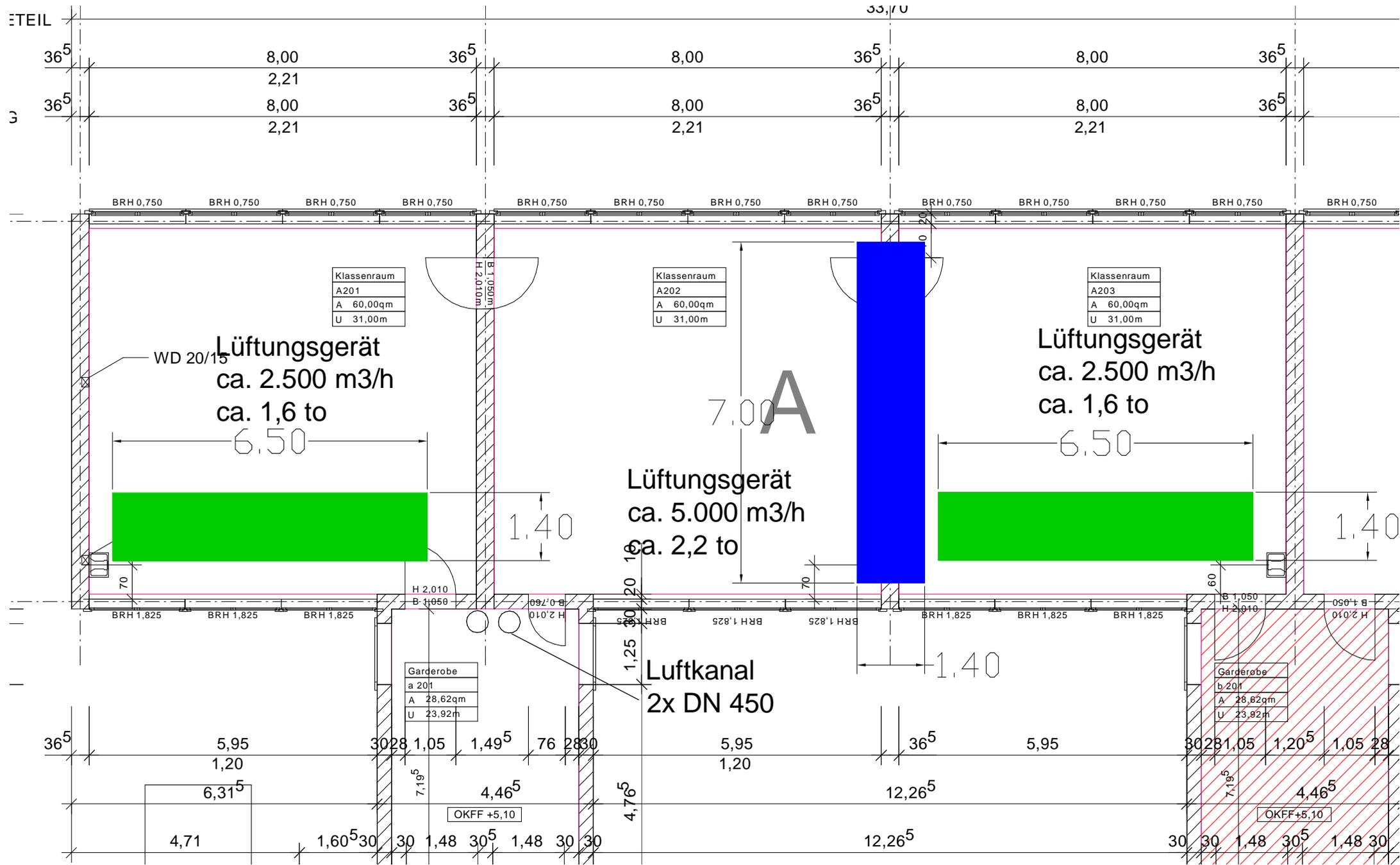
i.A. Dipl.-Phys. Thomas Kirtschig

## 5 Anhang

### 5.1 Lageplan und Bauteilbezeichnungen









# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule)

<b>1</b>		<b>Außenwand BT A+B: Keramikfassade (Bestand gedämmt)</b>			
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,13
				außen R <sub>sa</sub> :	0,13
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1. Innenputz	0,700				
2. Beton/Mauerwerk	2,300				
3. Keramikkacheln (BT A)	1,300				
4. Mineralwolle	0,035	Befestigungssystem; s. U-Wert-Zuschlag			
5. Vorhangfassade					
6.					
7.					
8.					
		Flächenanteil Teillfläche 2		Flächenanteil Teillfläche 3	
		<b>U-Wert-Zuschlag:</b>			<b>0,036</b> W/(m²K)
		<b>U-Wert:</b>			<b>0,155</b> W/(m²K)
					Summe Breite Dicke [mm]
					15
					270
					10
					280
					<b>57,5</b> cm

<b>2</b>		<b>Außenwand BT A+B: WDVS/Hofseiten (Bestand ungedämmt)</b>			
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,13
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1. Innenputz	0,700				
2. Beton/Mauerwerk	2,300				
3. Keramikkacheln (BT A)	1,300				
4. WDVS	0,035				
5. Vorhangfassade					
6.					
7.					
8.					
		Flächenanteil Teillfläche 2		Flächenanteil Teillfläche 3	
					<b>U-Wert:</b> <b>0,113</b> W/(m²K)
					Summe Breite Dicke [mm]
					15
					270
					10
					300
					<b>59,5</b> cm

<b>3</b>		<b>Außenwand geg. Erdreich</b>			
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,13
				außen R <sub>sa</sub> :	0,00
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1. Beton	2,300				
2. Abdichtung?					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
		Flächenanteil Teillfläche 2		Flächenanteil Teillfläche 3	
					<b>U-Wert:</b> <b>3,840</b> W/(m²K)
					Summe Breite Dicke [mm]
					300
					<b>30,0</b> cm

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule)

<b>4</b> Aussenwand BT a-d Aussen						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]						
				innen R <sub>si</sub> :	0,13	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04	
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Innenputz	0,700					15
2. Beton/Mauerwerk	2,300					270
3. Keramikkacheln (BT A)	1,300					10
4. Mineralwolle	0,035	Befestigungssystem; s. U-Wert-Zuschlag				280
5. Vorhangfassade						
6.						
7.						
8.						
Flächenanteil Teillfläche 2			Flächenanteil Teillfläche 3			Summe
0,0%			0,0%			<b>57,5</b> cm
<b>U-Wert-Zuschlag:</b>						
0,036						W/(m²K)
<b>U-Wert:</b>						
0,156						W/(m²K)

<b>5</b> Dach BT A						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]						
				innen R <sub>si</sub> :	0,10	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04	
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Deckenverkleidung	0,130					10
2. Luft	1,830	Betonrippen	1,650			280
3. Beton	2,300					80
4. Dampfsperre	0,230					3
5. Foamglas	0,050	Dämmdicke 10-15cm -> Mittelwert entspr. U-Wert-Mittelung				115
6. Wärmedämmung Dach	0,035	Dämmdicke 15-20cm -> Mittelwert entspr. U-Wert-Mittelung				185
7.						
8.						
Flächenanteil Teillfläche 2			Flächenanteil Teillfläche 3			Summe
20,0%			0,0%			<b>67,3</b> cm
<b>U-Wert:</b>						
0,125						W/(m²K)

<b>6</b> Dach BT a-d						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]						
				innen R <sub>si</sub> :	0,10	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04	
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Deckenverkleidung	0,130					10
2. Beton	2,300					160
3. Dampfsperre	0,230					3
4. Foamglas	0,050					150
5. Wärmedämmung Dach	0,035					200
6.						
7.						
8.						
Flächenanteil Teillfläche 2			Flächenanteil Teillfläche 3			Summe
20,0%			0,0%			<b>52,3</b> cm
<b>U-Wert:</b>						
0,111						W/(m²K)

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule)

<b>7</b>		<b>Dach BT B</b>				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,10	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04	
	Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1.	Deckenverkleidung	0,130				
2.	Luft	1,830	Betonrippen	1,650		
3.	Beton	2,300				
4.	Dampfsperre	0,230				
5.	Foamglas	0,050				
6.	Wärmedämmung Dach	0,035	im Mittel 18,5 cm			
7.						
8.						
			Flächenanteil Teillfläche 2	Flächenanteil Teillfläche 3		Summe
			20,0%			<b>67,3</b> cm
<b>U-Wert:</b>						<b>0,128</b> W/(m <sup>2</sup> K)

<b>8</b>		<b>Boden geg. Edreich BT A</b>				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,17	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,00	
	Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1.	Linoleum	0,170				
2.	Estrich	1,400				
3.	Styropor	0,045				
4.	Abdichtung					
5.	Betonbodenplatte					
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teillfläche 2	Flächenanteil Teillfläche 3		Summe
						<b>5,5</b> cm
<b>U-Wert:</b>						<b>1,793</b> W/(m <sup>2</sup> K)

<b>9</b>		<b>Boden geg. Keller BT A</b>				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,17	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,17	
	Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1.	Linoleum	0,170				
2.	Estrich	1,400				
3.	Styropor	0,045				
4.	Beton	2,300				
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teillfläche 2	Flächenanteil Teillfläche 3		Summe
						<b>13,5</b> cm
<b>U-Wert:</b>						<b>1,311</b> W/(m <sup>2</sup> K)

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule)

10 Boden BT a-d						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,17 außen R <sub>sa</sub> : 0,00						
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Linoleum	0,170					5
2. Estrich	1,400					35
3. Styropor	0,045					15
4. Abdichtung						
5. Betonbodenplatte						
6.						
7.						
8.						
Flächenanteil Teillfläche 2			Flächenanteil Teillfläche 3			Summe
						<b>5,5</b> cm
U-Wert: <b>1,793</b> W/(m <sup>2</sup> K)						

11 Decke BT B n.u. geg. Außenluft						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,17 außen R <sub>sa</sub> : 0,04						
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Linoleum	0,170					5
2. Estrich	1,400					40
3. Styropor	0,045					15
4. Beton	2,300					80
5. WDVS	0,040					300
6.						
7.						
8.						
Flächenanteil Teillfläche 2			Flächenanteil Teillfläche 3			Summe
						<b>44,0</b> cm
U-Wert: <b>0,123</b> W/(m <sup>2</sup> K)						

12 Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseiten						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,13 außen R <sub>sa</sub> : 0,04						
Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Innenputz	0,700					15
2. Beton/Mauerwerk	2,300					240
3. Keramikkacheln	1,300					10
4. WDVS	0,035					300
5.						
6.						
7.						
8.						
Flächenanteil Teillfläche 2			Flächenanteil Teillfläche 3			Summe
						<b>56,5</b> cm
U-Wert: <b>0,113</b> W/(m <sup>2</sup> K)						

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule)

13		Außenwand-Varianten					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :		außen R <sub>sa</sub> :	
				0,13			
				0,13			
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	Dicke [mm]
1. Innenputz	0,700					10	
2. Beton/Mauerwerk	2,300					200	
3. Keramikacheln (BT A)	1,300					10	
4. Mineralwolle	0,035	Konsolen+Dübel/Holz	0,130		0,035	250	
5. Mineralwolle	0,035		0,035	Konsolen+Dübel/Holz	0,130	0	
6. Vorhangfassade							
7.							
8.							
			Flächenanteil Teilfläche 2			Flächenanteil Teilfläche 3	Summe
			0,0%			0,0%	<b>47,0</b> cm
				<b>U-Wert:</b>		<b>0,133</b> W/(m <sup>2</sup> K)	
						0,000 0,133124	

14							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :		außen R <sub>sa</sub> :	
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	Dicke [mm]
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
			Flächenanteil Teilfläche 2			Flächenanteil Teilfläche 3	Summe
							cm
				<b>U-Wert:</b>		W/(m <sup>2</sup> K)	

15							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :		außen R <sub>sa</sub> :	
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	Dicke [mm]
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
			Flächenanteil Teilfläche 2			Flächenanteil Teilfläche 3	Summe
							cm
				<b>U-Wert:</b>		W/(m <sup>2</sup> K)	

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule): BT A, B, a-d

<b>1</b>		<b>Außenwand BT A+B: Keramikfassade (Bestand gedämmt)</b>				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,13	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,13	
	Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1.	Innenputz	0,700				
2.	Beton/Mauerwerk	2,300				
3.	Keramikkacheln (BT A)	1,300				
4.	Mineralwolle	0,045	Befestigungsschienen/	160		
5.	Vorhangfassade					
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teillfläche 2	Flächenanteil Teillfläche 3		Summe
			0,0%			<b>34,5</b> cm
				<b>U-Wert:</b>	<b>0,659</b>	W/(m <sup>2</sup> K)

<b>2</b>		<b>Außenwand BT A+B: WDVS/Hofseiten (Bestand ungedämmt)</b>				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,13	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04	
	Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1.	Innenputz	0,700				
2.	Beton/Mauerwerk	2,300				
3.	Keramikkacheln (BT A)	1,300				
4.	Mineralwolle	0,045	Befestigungsschienen/	160		
5.	Vorhangfassade					
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teillfläche 2	Flächenanteil Teillfläche 3		Summe
			0,0%			<b>29,5</b> cm
				<b>U-Wert:</b>	<b>3,159</b>	W/(m <sup>2</sup> K)

<b>3</b>		<b>Aussenwand geg. Erdreich</b>				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,13	
				außen R <sub>sa</sub> :	0,00	
	Teillfläche 1	λ [W/(mK)]	Teillfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teillfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1.	Beton	2,300				
2.	Abdichtung?					
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teillfläche 2	Flächenanteil Teillfläche 3		Summe
						<b>30,0</b> cm
				<b>U-Wert:</b>	<b>3,840</b>	W/(m <sup>2</sup> K)

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule): BT A, B, a-d

4		Aussenwand BT a-d Aussen					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,13		
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04		
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	Dicke [mm]
1. Innenputz	0,700					15	
2. Beton/Mauerwerk	2,300					240	
3. Keramikkacheln	1,300					10	
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe	
		0%		0%		<b>26,5</b> cm	
<b>U-Wert:</b>				<b>3,295</b>		W/(m²K)	

5		Dach BT A					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,10		
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04		
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	Dicke [mm]
1. Deckenverkleidung	0,130					10	
2. Luft	1,830	Betonrippen	1,650			280	
3. Beton	2,300					80	
4. Dampfsperre	0,230					3	
5. Foamglas	0,050	Dämmdicke 10-15cm -> Mittelwert entspr. U-Wert-Mittelung				115	
6. Bitumenabdichtung							
7. Kiesschüttung							
8.							
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe	
		20,0%		0%		<b>48,8</b> cm	
<b>U-Wert:</b>				<b>0,368</b>		W/(m²K)	

6		Dach BT a-d					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]		innen R <sub>si</sub> :	0,10		
				außen R <sub>sa</sub> :	0,04		
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	Dicke [mm]
1. Deckenverkleidung	0,130					10	
2. Beton	2,300					160	
3. Dampfsperre	0,230					3	
4. Foamglas	0,050					150	
5. Bitumenabdichtung							
6.							
7.							
8.							
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe	
		20,0%		0%		<b>32,3</b> cm	
<b>U-Wert:</b>				<b>0,303</b>		W/(m²K)	

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule): BT A, B, a-d

<b>7 Dach BT B</b>						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]						
					innen R <sub>si</sub> :	0,10
					außen R <sub>sa</sub> :	0,04
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Deckenverkleidung	0,130					10
2. Luft	1,830	Betonrippen	1,650			280
3. Beton	2,300					80
4. Dampfsperre	0,230					3
5. Foamglas	0,050					135
6. Bitumenabdichtung						
7.						
8.						
					Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3
					20,0%	Summe
						<b>50,8</b> cm
<b>U-Wert:</b>						<b>0,320</b> W/(m <sup>2</sup> K)

<b>8 Boden geg. Edreich BT A</b>						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]						
					innen R <sub>si</sub> :	0,17
					außen R <sub>sa</sub> :	0,00
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Linoleum	0,170					5
2. Estrich	1,400					35
3. Styropor	0,045					15
4. Abdichtung						
5. Betonbodenplatte						
6.						
7.						
8.						
					Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3
						Summe
						<b>5,5</b> cm
<b>U-Wert:</b>						<b>1,793</b> W/(m <sup>2</sup> K)

<b>9 Boden geg. Keller BT A</b>						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]						
					innen R <sub>si</sub> :	0,17
					außen R <sub>sa</sub> :	0,17
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Linoleum	0,170					5
2. Estrich	1,400					35
3. Styropor	0,045					15
4. Beton	2,300					80
5.						
6.						
7.						
8.						
					Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3
						Summe
						<b>13,5</b> cm
<b>U-Wert:</b>						<b>1,311</b> W/(m <sup>2</sup> K)

# Passivhaus-Vorprojektierung

## U-WERTE DER BAUTEILE

Klären: Bauteil 1,2: Befestigungsschienen, Bauteil 11: Aufbau aussen?

Objekt: Carlo-Mierendorff-Schule, F.a.M., (Integrierte Gesamtschule): BT A, B, a-d

10 Boden BT a-d						
Bauteil Nr.	Bauteil-Bezeichnung					
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,17						
außen R <sub>sa</sub> : 0,00						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite
1. Linoleum	0,170					Dicke [mm]
2. Estrich	1,400					5
3. Styropor	0,045					35
4. Abdichtung						15
5. Betonbodenplatte						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						5,5 cm
						U-Wert: 1,793 W/(m <sup>2</sup> K)

11 Decke BT B n.u. geg. Außenluft						
Bauteil Nr.	Bauteil-Bezeichnung					
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,17						
außen R <sub>sa</sub> : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite
1. Linoleum	0,170					Dicke [mm]
2. Estrich	1,400					5
3. Styropor	0,045					40
4. Beton	2,300					15
5. Mineralfaser	0,045					80
6. Luftraum	2,018					25
7. Beton-Unterdecke	1,650					465
8.						30
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						66,0 cm
						U-Wert: 0,694 W/(m <sup>2</sup> K)

12 Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseiten						
Bauteil Nr.	Bauteil-Bezeichnung					
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,13						
außen R <sub>sa</sub> : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite
1. Innenputz	0,700					Dicke [mm]
2. Beton/Mauerwerk	2,300					15
3. Keramikkacheln	1,300					240
4.						10
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						26,5 cm
						U-Wert: 3,295 W/(m <sup>2</sup> K)



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS_Bestand	Anzahl Vollgeschosse: 3
Variante: Bestand	Anzahl Wohneinheiten: 1
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude
	beheizte Nettogrundfläche: 2602,96 m <sup>2</sup>
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 13275,2 m <sup>3</sup>
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabenkung: 16 h/d
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 16,8 °C	Wochenendabsenkung: x
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 278,5 d/a	iliche Teilbeheizung
	räumliche Teilbeheizung
	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 4248,1 m <sup>2</sup>
	A/V-Verhältnis 0,503 1/m
	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%

**Bezugsfläche:**

**2603 m<sup>2</sup>**

(beheizte Nettogrundfläche)

jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand BT A+B: Keramikfassade	Außenwand	1063,9	0,659	1,00	701	19,2
2. Außenwand Nord Hof BT B	Außenwand	154,1	3,159	1,00	487	13,3
3. Aussenwand geg. Erdreich	Wand des beheizten Kellers (zum Erdreich)	34,3	3,840	0,40	53	1,4
4. Aussenwand BT a-d Aussen	Außenwand	360,0	3,295	1,00	1186	32,4
5. Dach BT A	Dachfläche	754,7	0,368	1,00	277	7,6
6. Dach BT a-d	Dachfläche	242,4	0,303	1,00	73	2,0
7. Dach BT B	Dachfläche	471,0	0,320	1,00	151	4,1
8. Boden geg. Edreich BT A	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	754,7	1,793	0,40	541	14,8
9. Boden geg. Keller BT A	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	0,0	1,311	0,65	0	0,0
10. Boden BT a-d	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	403,0	1,793	0,40	289	7,9
11. Decke BT B n.u. geg. Außenluft	aufgeständerter Fußboden	316,1	0,694	0,90	198	5,4
12. Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseit	Außenwand	600,3	3,295	1,00	1978	54,1
13. Fenster Ost in Aussenfassade	Fenster	41,9	2,600	1,00	109	3,0
14. Fenster Süd in Aussenfassade	Fenster	203,2	2,600	1,00	528	14,4
15. Fenster West in Aussenfassade	Fenster	51,8	2,600	1,00	135	3,7
16. Fenster Nord in Aussenfassade	Fenster	478,4	2,600	1,00	1244	34,0
17. Fenster horizontal	Fenster	5,7	2,600	1,00	15	0,4
18. Außentür	Fenster	7,0	2,600	1,00	18	0,5
19. Fenster Ost in WDVS	Fenster	139,2	2,600	1,00	362	9,9
20. Fenster Süd in WDVS	Fenster	80,1	2,600	1,00	208	5,7
21. Fenster West in WDVS	Fenster	139,2	2,600	1,00	362	9,9
22. Fenster Nord in WDVS	Fenster	36,8	2,600	1,00	96	2,6
23. Glasbausteine Süd in WDVS	Fenster	30,8	3,500	1,00	108	2,9
24. Glasbausteine Süd in Aussenfassade	Fenster	21,6	3,500	1,00	76	2,1
25. Außenwand Süd Hof BT A	Außenwand	287,6	0,659	1,00	190	5,2
26. 0		0,0	0,000	0,00	0	0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten

gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten

konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)

erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)

pauschaler Wärmebrückenzuschlag	6677,7	x	0,100	x	1,00	=	668	18,3
Bauteile mit Flächenheizung	0,0				Zuschlag $\Delta_{HT,FH}$		0	

### Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>

Summe 10051,5

**274,8**

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)}}{\text{lichte Raumhöhe (m)}} = \frac{2603,0}{2,50} = 6507,4 \text{ m}^3$$

offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)

Nachweis Dichtheit  $n_{50} \leq -$  1/h

x freie Lüftung (Fenster+Fugen):  $n_{\text{wirk}} = \text{natürl. Luftwechsel } n = 0,600$  1/h

Abluftanlage

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt

$$\text{wirksamer Luftwechsel } n_{\text{wirk}} = n_{\text{Anlage}} \times (1 - \eta_{\text{WRG}}) + n_x = 0,000 \times (1 - 0\%) + 0,000 = 0,000 \text{ 1/h}$$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinnung

**0,0**

### Lüftungswärmeverlust H<sub>V</sub>

$$H_V = V_L \times n_{\text{wirk}} \times c_{\text{Luft}} = 6507 \text{ m}^3 \times 0,600 \text{ 1/h} \times 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)} = 1327,5 \text{ W/K}$$

**36,3**

### Wärmeverluste gesamt

$$\text{Summe Wärmeverluste } Q_V = H_T + H_V = 10051,5 \text{ W/K} + 1327,5 \text{ W/K} = 11379 \text{ W/K}$$

**311,1**

### Solare Einstrahlung



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: CMS\_Bestand

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Bestand

Energiebezugsfläche: 2603,0 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor  
CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Erdgas	-	-	-
2,7	1,1	0,0	0,0	-
740	270	0	0	g/kWh

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

nicht berücksichtigt  
 $q_w$  0,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

$f_w$	-	-	-	-
$f_w$	100%	0%	0%	-
$a_w$	0,00	0,00	0,00	-
$a_w$	0,00	0,00	0,00	-
$e_w = f_w \cdot q_w \cdot a_w$	0,0	0,0	0,0	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

 $q_w$  0,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

$f_w$	-	-	-	-
$f_w$	0%	0%	0%	-
$a_w$	0,00	0,00	0,00	-
$a_w$	0,00	0,00	0,00	-
$e_w = f_w \cdot q_w \cdot a_w$	0,0	0,0	0,0	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

 $q_H$  216,1 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Blatt HW)ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.  $q_H - q_{h,TW} - q_L$ 216,1 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

$f_w$	-	-	-	-
$f_w$	100%	0%	0%	-
$a_w$	1,04	0,00	0,00	-
$a_w$	1,16	0,00	0,00	-
$e_w = f_w \cdot q_w \cdot a_w$	0,005	1,200	0,000	0,000 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	1,0	259,3	0,0	0,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

 $e = E_S / A_{EB}$  1,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Blatt HZ-K S.2)

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

 $e = e_H + e_w$  259,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\* $m_p = e \cdot x_{CO_2}$  0,7 kg/(m<sup>2</sup>a)

Gesamt\*

 $S m_p$  70,7 kg/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf\*

 $q_p = e \cdot p$  2,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

 $S q_p$  287,9 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

LEG 100,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) relativ zum Grenzwert: 288%

Primärenergie-Aufwandszahl

 $h_{a,p} = (q_w + q_H) / S q_p$  1,332\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS_EnEV_Bauteil-30%, Gas	Anzahl Vollgeschosse: 3			
Variante: Sanierung nach Bauteilverfahren-30%	Anzahl Wohneinheiten: 1			
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude	beheizte Nettogrundfläche: 2602,96 m <sup>2</sup>	<b>Bezugsfläche: 2603 m<sup>2</sup></b>	
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 13275,2 m <sup>3</sup>	(beheizte Nettogrundfläche)		
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabenkung: 16 h/d			
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 18,6 °C	Wochenendabsenkung: x			
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 239,0 d/a	iliche Teilbeheizung			
	räumliche Teilbeheizung	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 4248,1 m <sup>2</sup>	(jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m <sup>2</sup> a))	
	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%	A/V-Verhältnis 0,503 1/m		

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand BT A+B: Keramikfassade	Außenwand	1063,9	0,245	1,00	261	8,3
2. Außenwand Nord Hof BT B	Außenwand	154,1	0,245	1,00	38	1,2
3. Aussenwand geg. Erdreich	Außenwand	34,3	3,840	1,00	132	4,2
4. Aussenwand BT a-d Aussen	Außenwand	360,0	0,245	1,00	88	2,8
5. Dach BT A	Dachfläche	754,7	0,175	1,00	132	4,2
6. Dach BT a-d	Dachfläche	242,4	0,175	1,00	42	1,4
7. Dach BT B	Dachfläche	471,0	0,175	1,00	82	2,6
8. Boden geg. Edreich BT A	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	754,7	1,793	0,40	541	17,3
9. Boden geg. Keller BT A	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	0,0	1,311	0,65	0	0,0
10. Boden BT a-d	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	403,0	1,793	0,40	289	9,2
11. Decke BT B n.u. geg. Außenluft	aufgeständerter Fußboden	316,1	0,245	0,90	70	2,2
12. Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseit	Außenwand	600,3	0,245	1,00	147	4,7
13. Fenster Ost in Aussenfassade	Fenster	41,9	1,190	1,00	50	1,6
14. Fenster Süd in Aussenfassade	Fenster	203,2	1,190	1,00	242	7,7
15. Fenster West in Aussenfassade	Fenster	51,8	1,190	1,00	62	2,0
16. Fenster Nord in Aussenfassade	Fenster	478,4	1,190	1,00	569	18,2
17. Fenster horizontal	Fenster	5,7	1,190	1,00	7	0,2
18. Außentür	Fenster	7,0	2,030	1,00	14	0,5
19. Fenster Ost in WDVS	Fenster	139,2	1,190	1,00	166	5,3
20. Fenster Süd in WDVS	Fenster	80,1	1,190	1,00	95	3,0
21. Fenster West in WDVS	Fenster	139,2	1,190	1,00	166	5,3
22. Fenster Nord in WDVS	Fenster	36,8	1,190	1,00	44	1,4
23. Glasbausteine Süd in WDVS	Fenster	30,8	1,190	1,00	37	1,2
24. Glasbausteine Süd in Aussenfassad	Fenster	21,6	1,190	1,00	26	0,8
25. Außenwand Süd Hof BT A	Außenwand	287,6	0,245	1,00	70	2,3
26. 0		0,0	0,000	0,00	0	0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten	
gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten	
konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)	
erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)	
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	6677,7 x 0,100 x 1,00 = 668
Bauteile mit Flächenheizung	0,0 Zuschlag Δ <sub>HT,FH</sub> 0

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 4036,8 **129,2**

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)} \times \text{lichte Raumhöhe (m)}}{1} = 2603,0 \times 2,50 = 6507,4 \text{ m}^3$$

<b>offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)</b>	
Nachweis Dichtheit n <sub>50</sub> ≤ - 1/h	
<b>x</b> freie Lüftung (Fenster+Fugen): n <sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n 0,600	
Abluftanlage	
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)	
WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt	

$$\text{wirksamer Luftwechsel } n_{\text{wirk}} = n_{\text{Anlage}} \times (1 - \eta_{\text{WRG}}) + n_x = 0,000 \times (1 - 0\%) + 0,000 = 0,000$$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinnung **0,0**

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = \frac{V_L \times n_{\text{wirk}} \times c_{\text{Luft}}}{1} = 6507 \times 0,600 \times 0,34 = 1327,5 \text{ W/K}$$

**42,5**

### Wärmeverluste gesamt

$$\text{Summe Wärmeverluste } Q_V = H_T + H_V = 4036,8 + 1327,5 = 5364 \text{ W/K}$$

**171,7**

### Solare Einstrahlung



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: CMS\_EnEV\_Bauteil-30%, Gas

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Sanierung nach Bauteilverfahren-30%

Energiebezugsfläche: 2603,0 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor  
CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Erdgas	-	-	-
2,7	1,1	0,0	0,0	-
740	270	0	0	-

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

nicht berücksichtigt  
 $q_w$  0,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

	Teilsysteme			
	TS1	TS2	TS3	
Brennwertkessel	-	-	-	-
$f_w$	100%	0%	0%	-
$a_w$	0,00	0,00	0,00	-
$e_w = f_w \cdot q_w \cdot a_w$	0,1	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

 $q_w$  0,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

	Teilsysteme			
	TS1	TS2	TS3	
$f_w$	0%	0%	0%	-
$a_w$	0,00	0,00	0,00	-
$e_w = f_w \cdot q_w \cdot a_w$	0,0	0,0	0,0	0,0

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

 $q_H$  98,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Blatt HW)ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.  $q_H - q_{h,TTW} - q_L$ 98,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

	Teilsysteme			
	TS1	TS2	TS3	
Brennwertkessel 70/55°C, außerhalb therm. Hülle	-	-	-	-
$f_w$	100%	0%	0%	-
$a_w$	1,07	0,00	0,00	-
$e_w = f_w \cdot q_w \cdot a_w$	0,9	1,113	0,0	0,0
	0,009	1,113	0,000	0,000

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

 $e = E_S / A_{EB}$  1,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Blatt HZ-K S.2)

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

 $e = e_H + e_W$  109,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\* $m_p = e \cdot x_{CO_2}$  0,7 kg/(m<sup>2</sup>a)

Gesamt\*

 $S m_p$  30,3 kg/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf\*

 $q_p = e \cdot p$  2,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

 $S q_p$  123,3 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

LEG 100,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) relativ zum Grenzwert: 123%

Primärenergie-Aufwandszahl

 $h_{a,p} = (q_w + q_H) / S q_p$  1,251\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS_EnEV_Bauteil-30%, Pellests	Anzahl Vollgeschosse: 3
Variante: Sanierung nach Bauteilverfahren-30%	Anzahl Wohneinheiten: 1
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheizte Nettogrundfläche: 2602,96 m <sup>2</sup>
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabenkung: 16 h/d
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 18,6 °C	Wochenendabsenkung: x
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 239,0 d/a	iliche Teilbeheizung
	räumliche Teilbeheizung
	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 13275,2 m <sup>3</sup>
	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 4248,1 m <sup>2</sup>
	A/V-Verhältnis 0,503 1/m
	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%

**Bezugsfläche:**  
**2603 m<sup>2</sup>**

(beheizte Nettogrundfläche)

jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand BT A+B: Keramikfassade	Außenwand	1063,9	0,245	1,00	261	8,3
2. Außenwand Nord Hof BT B	Außenwand	154,1	0,245	1,00	38	1,2
3. Aussenwand geg. Erdreich	Außenwand	34,3	3,840	1,00	132	4,2
4. Aussenwand BT a-d Aussen	Außenwand	360,0	0,245	1,00	88	2,8
5. Dach BT A	Dachfläche	754,7	0,175	1,00	132	4,2
6. Dach BT a-d	Dachfläche	242,4	0,175	1,00	42	1,4
7. Dach BT B	Dachfläche	471,0	0,175	1,00	82	2,6
8. Boden geg. Edreich BT A	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	754,7	1,793	0,40	541	17,3
9. Boden geg. Keller BT A	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	0,0	1,311	0,65	0	0,0
10. Boden BT a-d	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	403,0	1,793	0,40	289	9,2
11. Decke BT B n.u. geg. Außenluft	aufgeständerter Fußboden	316,1	0,245	0,90	70	2,2
12. Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseit	Außenwand	600,3	0,245	1,00	147	4,7
13. Fenster Ost in Aussenfassade	Fenster	41,9	1,190	1,00	50	1,6
14. Fenster Süd in Aussenfassade	Fenster	203,2	1,190	1,00	242	7,7
15. Fenster West in Aussenfassade	Fenster	51,8	1,190	1,00	62	2,0
16. Fenster Nord in Aussenfassade	Fenster	478,4	1,190	1,00	569	18,2
17. Fenster horizontal	Fenster	5,7	1,190	1,00	7	0,2
18. Außentür	Fenster	7,0	2,030	1,00	14	0,5
19. Fenster Ost in WDVS	Fenster	139,2	1,190	1,00	166	5,3
20. Fenster Süd in WDVS	Fenster	80,1	1,190	1,00	95	3,0
21. Fenster West in WDVS	Fenster	139,2	1,190	1,00	166	5,3
22. Fenster Nord in WDVS	Fenster	36,8	1,190	1,00	44	1,4
23. Glasbausteine Süd in WDVS	Fenster	30,8	1,190	1,00	37	1,2
24. Glasbausteine Süd in Aussenfassad	Fenster	21,6	1,190	1,00	26	0,8
25. Außenwand Süd Hof BT A	Außenwand	287,6	0,245	1,00	70	2,3
26. 0		0,0	0,000	0,00	0	0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten	
gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten	
konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)	
erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)	
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	6677,7 x 0,100 x 1,00 = 668
Bauteile mit Flächenheizung	0,0 Zuschlag Δ <sub>HT,FH</sub> 0

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 4036,8

**129,2**

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)}}{\text{lichte Raumhöhe (m)}} = \frac{2603,0}{2,50} = 6507,4 \text{ m}^3$$

<b>offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)</b>	
Nachweis Dichtheit n <sub>50</sub> ≤ - 1/h	
<b>x</b> freie Lüftung (Fenster+Fugen): n <sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n	0,600
Abluftanlage	
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)	
WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt	

$$\text{wirksamer Luftwechsel } n_{\text{wirk}} = n_{\text{Anlage}} \cdot \eta_{\text{WRG}} + n_x = 0,000 \cdot (1 - 0\%) + 0,000 = 0,000$$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinnung **0,0**

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = V_L \cdot n_{\text{wirk}} \cdot c_{\text{Luft}} = 6507 \cdot 0,600 \cdot 0,34 = 1327,5 \text{ W/K}$$

**42,5**

### Wärmeverluste gesamt

$$\text{Summe Wärmeverluste } Q_V = H_T + H_V = 4036,8 + 1327,5 = 5364 \text{ W/K}$$

**171,7**

### Solare Einstrahlung



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: CMS\_EnEV\_Bauteil-30%, Pellets

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Sanierung nach Bauteilverfahren-30%

Energiebezugsfläche: 2603,0 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.  $q_H - q_{h,TW} - q_L$ 

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*

Gesamt\*

Primärenergie-Bedarf\*

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

Primärenergie-Aufwandszahl

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Holz DIN	-	-	-
2,7	0,2	0,0	0,0	-
740	41	0	0	-
nicht berücksichtigt				
$q_{WW}$	0,0			kWh/(m <sup>2</sup> a)
$f_{WW}$	100%	0%	0%	-
$a_{WW}$	0,00	0,00	0,00	-
$e_{WW} = f_{WW} \cdot q_{WW} \cdot a_{WW}$	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
$q_{Lüf}$	0,0			kWh/(m <sup>2</sup> a)
$f_{Lüf}$	0%	0%	0%	-
$a_{Lüf}$	0,00	0,00	0,00	-
$e_{Lüf} = f_{Lüf} \cdot q_{Lüf} \cdot a_{Lüf}$	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
$q_H$	98,6			kWh/(m <sup>2</sup> a)
$q_H - q_{h,TW} - q_L$	98,6			kWh/(m <sup>2</sup> a)
$f_W$	100%	0%	0%	-
$a_W$	1,07	0,00	0,00	-
$e_W = f_W \cdot q_W \cdot a_W$	4,1	143,8	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
$e = E_S / A_{EB}$	4,1			kWh/(m <sup>2</sup> a)
$e = e_H + e_W$	143,8	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
$m_p = e \cdot x_{CO_2}$	3,1	5,9	0,0	kg/(m <sup>2</sup> a)
$S m_p$	9,0			kg/(m <sup>2</sup> a)
$q_p = e \cdot p$	11,2	28,8	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
$S q_p$	39,9			kWh/(m <sup>2</sup> a)
LEG	100,0			kWh/(m <sup>2</sup> a) relativ zum Grenzwert: 40%
$h_{a,p} = (q_W + q_H) / S q_p$	0,405			-



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS-Sanierung_Grundvariante	Anzahl Vollgeschosse: 3			
Variante: Sanierung Grundvariante	Anzahl Wohneinheiten: 1			
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude	beheizte Nettogrundfläche: 2602,96 m <sup>2</sup>	<b>Bezugsfläche: 2603 m<sup>2</sup></b>	
Klima: Frankfurt (Region 12)		beheiztes Gebäudevol. (brutto) 13275,2 m <sup>3</sup>	(beheizte Nettogrundfläche)	
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabsenkung: 16 h/d	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 4248,1 m <sup>2</sup>		
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 19,6 °C	Wochenendabsenkung: x	A/V-Verhältnis 0,505 1/m		
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 194,6 d/a	iliche Teilbeheizung	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%		
	räumliche Teilbeheizung		jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m <sup>2</sup> a)	

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand BT A+B: Keramikfassade	Außenwand	1063,9	0,155	1,00	165	5,7
2. Außenwand Nord Hof BT B	Außenwand	154,1	0,155	1,00	24	0,8
3. Aussenwand geg. Erdreich	Wand des beheizten Kellers (zum Erdreich)	34,3	3,840	0,40	53	1,8
4. Aussenwand BT a-d Aussen	Außenwand	379,6	0,156	1,00	59	2,0
5. Dach BT A	Dachfläche	754,7	0,125	1,00	94	3,3
6. Dach BT a-d	Dachfläche	242,4	0,111	1,00	27	0,9
7. Dach BT B	Dachfläche	471,0	0,128	1,00	60	2,1
8. Boden geg. Edreich BT A	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	754,7	1,793	0,40	541	18,6
9. Boden geg. Keller BT A	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	0,0	1,311	0,65	0	0,0
10. Boden BT a-d	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	422,0	1,793	0,40	303	10,4
11. Decke BT B n.u. geg. Außenluft	aufgeständerter Fußboden	316,1	0,123	0,90	35	1,2
12. Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseit	Außenwand	619,9	0,113	1,00	70	2,4
13. Fenster Ost in Aussenfassade	Fenster	41,9	0,800	1,00	33	1,2
14. Fenster Süd in Aussenfassade	Fenster	203,2	0,800	1,00	163	5,6
15. Fenster West in Aussenfassade	Fenster	51,8	0,800	1,00	41	1,4
16. Fenster Nord in Aussenfassade	Fenster	465,3	0,800	1,00	372	12,8
17. Fenster horizontal	Fenster	5,7	0,800	1,00	5	0,2
18. Außentür	Fenster	7,0	0,800	1,00	6	0,2
19. Fenster Ost in WDVS	Fenster	139,2	0,800	1,00	111	3,8
20. Fenster Süd in WDVS	Fenster	80,1	0,800	1,00	64	2,2
21. Fenster West in WDVS	Fenster	139,2	0,800	1,00	111	3,8
22. Fenster Nord in WDVS	Fenster	18,4	0,800	1,00	15	0,5
23. Glasbausteine Süd in WDVS	Fenster	30,8	0,800	1,00	25	0,8
24. Glasbausteine Süd in Aussenfassad	Fenster	21,6	0,800	1,00	17	0,6
25. Außenwand Süd Hof BT A	Außenwand	287,6	0,155	1,00	45	1,5
26. 0		0,0	0,000	0,00	0	0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten	
gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten	
konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)	
erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)	
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	6704,4 x 0,040 x 1,00 = 268
Bauteile mit Flächenheizung	0,0 Zuschlag Δ <sub>HT,FH</sub> 0

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 2707,2 **93,3**

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)} \times \text{lichte Raumhöhe (m)}}{3,6} = \frac{2603,0 \times 2,50}{3,6} = 6507,4 \text{ m}^3$$

<input type="checkbox"/> offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)	
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis Dichtheit	n <sub>50</sub> ≤ 1,0 1/h
<input type="checkbox"/> freie Lüftung (Fenster+Fugen):	n <sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n = 0,000
<input type="checkbox"/> Abluftanlage	
<input checked="" type="checkbox"/> Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)	
WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt	n <sub>Anlage</sub> η <sub>WRG</sub> n <sub>x</sub>

$$\text{wirksamer Luftwechsel } n_{\text{wirk}} = 0,400 \times (1 - 80\%) + 0,100 = 0,180$$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn **0,0**

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = V_L \times n_{\text{wirk}} \times c_{\text{Luft}} = 6507 \times 0,180 \times 0,34 = 398,3 \text{ W/K}$$

**Wärmeverluste gesamt**

$$\text{Summe Wärmeverluste } Q_V = H_T + H_V = 2707,2 + 398,3 = 3105 \text{ W/K}$$

### Solare Einstrahlung



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: CMS-Sanierung\_Grundvariante

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Sanierung Grundvariante

Energiebezugsfläche: 2603,0 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Erdgas	-	-	
2,7	1,1	0,0	0,0	-
740	270	0	0	

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

nicht berücksichtigt					
q <sub>W</sub>	0,0				kWh/(m <sup>2</sup> a)
f <sub>W</sub>					
a <sub>W</sub>					
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	0,0				kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

q <sub>W</sub>	-3,4				kWh/(m <sup>2</sup> a)
f <sub>W</sub>					
a <sub>W</sub>					
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	3,6	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl. q<sub>h</sub>-q<sub>h,TW</sub>-q<sub>L</sub>

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

q <sub>H</sub>	45,5	(Blatt HW)			kWh/(m <sup>2</sup> a)
q <sub>h</sub> -q <sub>h,TW</sub> -q <sub>L</sub>	49,0				kWh/(m <sup>2</sup> a)
f <sub>W</sub>					
a <sub>W</sub>					
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,7	55,6	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*

Gesamt\*

Primärenergie-Bedarf\*

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

Primärenergie-Aufwandszahl

e = E <sub>S</sub> / A <sub>EB</sub>	4,3	(Blatt HZ-K S.2)			kWh/(m <sup>2</sup> a)	
e = e <sub>H</sub> + e <sub>W</sub>		55,6	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
m <sub>p</sub> = e · x <sub>CO<sub>2</sub></sub>		3,2	15,0	0,0	0,0	kg/(m <sup>2</sup> a)
S m <sub>p</sub>	18,2				kg/(m <sup>2</sup> a)	
q <sub>p</sub> = e · p		11,6	61,2	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
S q <sub>p</sub>	72,8				kWh/(m <sup>2</sup> a)	
LEG	100,0	relativ zum Grenzwert:			73%	

h<sub>a,p</sub> = (q<sub>W</sub> + q<sub>H</sub>) / S q<sub>p</sub>

1,598

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS-Sanierung_Grundvariante PH Pellet	Anzahl Vollgeschosse: 3	<b>Bezugsfläche:</b> <b>2603 m<sup>2</sup></b>
Variante: Sanierung Grundvariante	Anzahl Wohneinheiten: 1	
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude	beheizte Nettogrundfläche: 2602,96 m <sup>2</sup>
Klima: Frankfurt (Region 12)		
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabsenkung: 16 h/d	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 13275,2 m <sup>3</sup>
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 19,6 °C	Wochenendabsenkung: x	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 4248,1 m <sup>2</sup>
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 194,6 d/a	iliche Teilbeheizung	A/V-Verhältnis 0,505 1/m
	räumliche Teilbeheizung	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%

(beheizte Nettogrundfläche)

jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand BT A+B: Keramikfassade	Außenwand	1063,9	x 0,155	x 1,00	= 165	5,7
2. Außenwand Nord Hof BT B	Außenwand	154,1	x 0,155	x 1,00	= 24	0,8
3. Aussenwand geg. Erdreich	Wand des beheizten Kellers (zum Erdreich)	34,3	x 3,840	x 0,40	= 53	1,8
4. Aussenwand BT a-d Aussen	Außenwand	379,6	x 0,156	x 1,00	= 59	2,0
5. Dach BT A	Dachfläche	754,7	x 0,125	x 1,00	= 94	3,3
6. Dach BT a-d	Dachfläche	242,4	x 0,111	x 1,00	= 27	0,9
7. Dach BT B	Dachfläche	471,0	x 0,128	x 1,00	= 60	2,1
8. Boden geg. Edreich BT A	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	754,7	x 1,793	x 0,40	= 541	18,6
9. Boden geg. Keller BT A	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	0,0	x 1,311	x 0,65	= 0	0,0
10. Boden BT a-d	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	422,0	x 1,793	x 0,40	= 303	10,4
11. Decke BT B n.u. geg. Außenluft	aufgeständerter Fußboden	316,1	x 0,123	x 0,90	= 35	1,2
12. Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseit	Außenwand	619,9	x 0,113	x 1,00	= 70	2,4
13. Fenster Ost in Aussenfassade	Fenster	41,9	x 0,800	x 1,00	= 33	1,2
14. Fenster Süd in Aussenfassade	Fenster	203,2	x 0,800	x 1,00	= 163	5,6
15. Fenster West in Aussenfassade	Fenster	51,8	x 0,800	x 1,00	= 41	1,4
16. Fenster Nord in Aussenfassade	Fenster	465,3	x 0,800	x 1,00	= 372	12,8
17. Fenster horizontal	Fenster	5,7	x 0,800	x 1,00	= 5	0,2
18. Außentür	Fenster	7,0	x 0,800	x 1,00	= 6	0,2
19. Fenster Ost in WDVS	Fenster	139,2	x 0,800	x 1,00	= 111	3,8
20. Fenster Süd in WDVS	Fenster	80,1	x 0,800	x 1,00	= 64	2,2
21. Fenster West in WDVS	Fenster	139,2	x 0,800	x 1,00	= 111	3,8
22. Fenster Nord in WDVS	Fenster	18,4	x 0,800	x 1,00	= 15	0,5
23. Glasbausteine Süd in WDVS	Fenster	30,8	x 0,800	x 1,00	= 25	0,8
24. Glasbausteine Süd in Aussenfassade	Fenster	21,6	x 0,800	x 1,00	= 17	0,6
25. Außenwand Süd Hof BT A	Außenwand	287,6	x 0,155	x 1,00	= 45	1,5
26. 0		0,0	x 0,000	x 0,00	= 0	0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten	
gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten	
konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)	
erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)	
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	6704,4 x 0,040 x 1,00 = 268
Bauteile mit Flächenheizung	0,0 Zuschlag Δ <sub>HT,FH</sub> 0

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 2707,2 **93,3**

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)} \times \text{lichte Raumhöhe (m)}}{1} = 2603,0 \times 2,50 = 6507,4 \text{ m}^3$$

offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)

x Nachweis Dichtheit  $n_{50} \leq 1,0$  1/h

freie Lüftung (Fenster+Fugen):  $n_{\text{wirk}} = \text{natürl. Luftwechsel } n = 0,000$

Abluftanlage

x Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt

$$\text{wirksamer Luftwechsel } n_{\text{wirk}} = n_{\text{Anlage}} \times (1 - \eta_{\text{WRG}}) + n_x = 0,400 \times (1 - 80\%) + 0,100 = 0,180$$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn **0,0**

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = V_L \times n_{\text{wirk}} \times c_{\text{Luft}} = 6507 \times 0,180 \times 0,34 = 398,3 \text{ W/K}$$

### Wärmeverluste gesamt

$$\text{Summe Wärmeverluste } Q_V = H_T + H_V = 2707,2 + 398,3 = 3105 \text{ W/K} \quad \text{107,0}$$

### Solare Einstrahlung



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS-Sanierung\_Grundvariante PH Pellet

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Sanierung Grundvariante

Energiebezugsfläche: 2603,0 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor  
CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Holz DIN	-	-	-
2,7	0,2	0,0	0,0	-
740	41	0	0	g/kWh

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

nicht berücksichtigt  
 $q_W$  0,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil  
Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung  
Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Pellet-Feuerung - nur indirekte Wärmeabgabe - nur in Heizperiode				-
	TS1	TS2	TS3	
100%	0%	0%	0%	-
0,00	0,00	0,00	0,00	-
0,00	0,00	0,00	0,00	-
0,000	0,000	0,000	0,000	-

## Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

$e_W = f_W \cdot q_W \cdot a_W$  0,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

$q_W$  -3,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil  
Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung  
Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Pellet-Feuerung - nur indirekte Wärmeabgabe (bis max. 500 m <sup>2</sup> AN)				-
	TS1	TS2	TS3	
0%	0%	0%	0%	-
0,00	0,00	0,00	0,00	-
0,00	0,00	0,00	0,00	-
0,000	0,000	0,000	0,000	-

## Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

$e_W = f_W \cdot q_W \cdot a_W$  3,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

$q_H$  45,5 (Blatt HW) kWh/(m<sup>2</sup>a)

ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.  $q_H - q_{h,TW} - q_L$ 

49,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil  
Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung  
Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Pellet-Feuerung - nur indirekte Wärmeabgabe (bis max. 500 m <sup>2</sup> AN)				-
	TS1	TS2	TS3	
100%	0%	0%	0%	-
1,09	0,00	0,00	0,00	-
1,36	0,00	0,00	0,00	-
0,069	1,487	0,000	0,000	-

## Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

$e_W = f_W \cdot q_W \cdot a_W$  3,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

$e = E_S / A_{EB}$  7,0 (Blatt HZ-K S.2) kWh/(m<sup>2</sup>a)

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

$e = e_H + e_W$  72,8 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*

$m_p = e \cdot x_{CO_2}$  5,2 kg/(m<sup>2</sup>a)

Gesamt\*

$S m_p$  8,2 kg/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf\*

$q_p = e \cdot p$  18,9 kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

$S q_p$  33,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Grenzwert Primärenergie-Bedarf

LEG 100,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) relativ zum Grenzwert: 33%

## Primärenergie-Aufwandszahl

$h_{a,p} = (q_W + q_H) / S q_p$  0,734

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS-Sanierung_Grundvariante-BHKW	Anzahl Vollgeschosse: 3			
Variante: Sanierung Grundvariante	Anzahl Wohneinheiten: 1			
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude	beheizte Nettogrundfläche: 2602,96 m <sup>2</sup>	<b>Bezugsfläche: 2603 m<sup>2</sup></b>	
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 13275,2 m <sup>3</sup>	(beheizte Nettogrundfläche)  jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabsenkung: 16 h/d			
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 19,6 °C	Wochenendabsenkung: x			
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 194,6 d/a	iliche Teilbeheizung			
	räumliche Teilbeheizung	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 4248,1 m <sup>2</sup>		
	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%	A/V-Verhältnis 0,505 1/m		

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand BT A+B: Keramikfassade	Außenwand	1063,9	0,155	1,00	165	5,7
2. Außenwand Nord Hof BT B	Außenwand	154,1	0,155	1,00	24	0,8
3. Aussenwand geg. Erdreich	Wand des beheizten Kellers (zum Erdreich)	34,3	3,840	0,40	53	1,8
4. Aussenwand BT a-d Aussen	Außenwand	379,6	0,156	1,00	59	2,0
5. Dach BT A	Dachfläche	754,7	0,125	1,00	94	3,3
6. Dach BT a-d	Dachfläche	242,4	0,111	1,00	27	0,9
7. Dach BT B	Dachfläche	471,0	0,128	1,00	60	2,1
8. Boden geg. Edreich BT A	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	754,7	1,793	0,40	541	18,6
9. Boden geg. Keller BT A	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	0,0	1,311	0,65	0	0,0
10. Boden BT a-d	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	422,0	1,793	0,40	303	10,4
11. Decke BT B n.u. geg. Außenluft	aufgeständerter Fußboden	316,1	0,123	0,90	35	1,2
12. Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseit	Außenwand	619,9	0,113	1,00	70	2,4
13. Fenster Ost in Aussenfassade	Fenster	41,9	0,800	1,00	33	1,2
14. Fenster Süd in Aussenfassade	Fenster	203,2	0,800	1,00	163	5,6
15. Fenster West in Aussenfassade	Fenster	51,8	0,800	1,00	41	1,4
16. Fenster Nord in Aussenfassade	Fenster	465,3	0,800	1,00	372	12,8
17. Fenster horizontal	Fenster	5,7	0,800	1,00	5	0,2
18. Außentür	Fenster	7,0	0,800	1,00	6	0,2
19. Fenster Ost in WDVS	Fenster	139,2	0,800	1,00	111	3,8
20. Fenster Süd in WDVS	Fenster	80,1	0,800	1,00	64	2,2
21. Fenster West in WDVS	Fenster	139,2	0,800	1,00	111	3,8
22. Fenster Nord in WDVS	Fenster	18,4	0,800	1,00	15	0,5
23. Glasbausteine Süd in WDVS	Fenster	30,8	0,800	1,00	25	0,8
24. Glasbausteine Süd in Aussenfassad	Fenster	21,6	0,800	1,00	17	0,6
25. Außenwand Süd Hof BT A	Außenwand	287,6	0,155	1,00	45	1,5
26. 0		0,0	0,000	0,00	0	0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten	
gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten	
konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)	
erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)	
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	6704,4 x 0,040 x 1,00 = 268
Bauteile mit Flächenheizung	0,0 Zuschlag Δ <sub>HT,FH</sub> 0

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 2707,2 **93,3**

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)}}{\text{lichte Raumhöhe (m)}} = \frac{2603,0}{2,50} = 6507,4 \text{ m}^3$$

<input type="checkbox"/> offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)	
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis Dichtheit	n <sub>50</sub> ≤ 1,0 1/h
<input type="checkbox"/> freie Lüftung (Fenster+Fugen):	n <sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n = 0,000
<input type="checkbox"/> Abluftanlage	
<input checked="" type="checkbox"/> Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)	
WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt	n <sub>Anlage</sub> η <sub>WRG</sub> n <sub>x</sub>

$$\text{wirksamer Luftwechsel } n_{\text{wirk}} = 0,400 \times (1 - 80\%) + 0,100 = 0,180$$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn **0,0**

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = V_L \times n_{\text{wirk}} \times c_{\text{Luft}} = 6507 \times 0,180 \times 0,34 = 398,3 \text{ W/K}$$

**Wärmeverluste gesamt**

$$\text{Summe Wärmeverluste } Q_V = H_T + H_V = 2707,2 + 398,3 = 3105 \text{ W/K}$$

### Solare Einstrahlung



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: CMS-Sanierung\_Grundvariante-BHKW

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Sanierung Grundvariante

Energiebezugsfläche: 2603,0 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor  
CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	FW KWK f	-	-	-
2,7	0,7	0,0	0,0	-
740	230	0	0	g/kWh

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

nicht berücksichtigt  
q<sub>W</sub> 0,0kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

f<sub>W</sub>

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

a<sub>W</sub>

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

e<sub>W</sub> = f<sub>W</sub> · q<sub>W</sub> · a<sub>W</sub>

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

0,0

kWh/(m<sup>2</sup>a)kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

q<sub>W</sub> -3,4kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

f<sub>W</sub>

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

a<sub>W</sub>

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

e<sub>W</sub> = f<sub>W</sub> · q<sub>W</sub> · a<sub>W</sub>

3,6

kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

q<sub>H</sub> 45,5 (Blatt HW)kWh/(m<sup>2</sup>a)ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl. q<sub>H</sub>-q<sub>H,TW</sub>-q<sub>L</sub>

49,0

kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

f<sub>W</sub>

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

a<sub>W</sub>

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

e<sub>W</sub> = f<sub>W</sub> · q<sub>W</sub> · a<sub>W</sub>

0,4

kWh/(m<sup>2</sup>a)

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

e = E<sub>S</sub> / A<sub>EB</sub>

4,0 (Blatt HZ-K S.2)

kWh/(m<sup>2</sup>a)

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

e = e<sub>H</sub> + e<sub>W</sub>

53,4

0,0

0,0

kWh/(m<sup>2</sup>a)Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*m<sub>p</sub> = e · x<sub>CO2</sub>

3,0

12,3

0,0

kg/(m<sup>2</sup>a)

Gesamt\*

S m<sub>p</sub>

15,2

kg/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf\*

q<sub>p</sub> = e · p

10,8

37,4

0,0

kWh/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

S q<sub>p</sub>

48,2

kWh/(m<sup>2</sup>a)

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

LEG

100,0

kWh/(m<sup>2</sup>a)

relativ zum Grenzwert:

48%

Primärenergie-Aufwandszahl

h<sub>a,p</sub> = (q<sub>W</sub> + q<sub>H</sub>) / S q<sub>p</sub>

1,058

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS_EnEV_Bauteil-30%, Pellests+WRG	Anzahl Vollgeschosse: 3		
Variante: Sanierung nach Bauteilverfahren-30%	Anzahl Wohneinheiten: 1		
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude	beheizte Nettogrundfläche: 2602,96 m <sup>2</sup>	
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 13275,2 m <sup>3</sup>	<b>Bezugsfläche:</b> <b>2603 m<sup>2</sup></b> (beheizte Nettogrundfläche)  jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabsenkung: 16 h/d		"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 4248,1 m <sup>2</sup>
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 19,0 °C	Wochenendabsenkung: x		A/V-Verhältnis 0,503 1/m
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 224,7 d/a	iliche Teilbeheizung		nicht direkt beheizter Raumanteil 0%
	räumliche Teilbeheizung		

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand BT A+B: Keramikfassade	Außenwand	1063,9	0,245	1,00	261	8,6
2. Außenwand Nord Hof BT B	Außenwand	154,1	0,245	1,00	38	1,2
3. Aussenwand geg. Erdreich	Außenwand	34,3	3,840	1,00	132	4,4
4. Aussenwand BT a-d Aussen	Außenwand	360,0	0,245	1,00	88	2,9
5. Dach BT A	Dachfläche	754,7	0,175	1,00	132	4,4
6. Dach BT a-d	Dachfläche	242,4	0,175	1,00	42	1,4
7. Dach BT B	Dachfläche	471,0	0,175	1,00	82	2,7
8. Boden geg. Edreich BT A	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	754,7	1,793	0,40	541	17,9
9. Boden geg. Keller BT A	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	0,0	1,311	0,65	0	0,0
10. Boden BT a-d	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	403,0	1,793	0,40	289	9,6
11. Decke BT B n.u. geg. Außenluft	aufgeständerter Fußboden	316,1	0,245	0,90	70	2,3
12. Aussenwand BT a-d WDVS/Hofseit	Außenwand	600,3	0,245	1,00	147	4,9
13. Fenster Ost in Aussenfassade	Fenster	41,9	1,190	1,00	50	1,6
14. Fenster Süd in Aussenfassade	Fenster	203,2	1,190	1,00	242	8,0
15. Fenster West in Aussenfassade	Fenster	51,8	1,190	1,00	62	2,0
16. Fenster Nord in Aussenfassade	Fenster	478,4	1,190	1,00	569	18,8
17. Fenster horizontal	Fenster	5,7	1,190	1,00	7	0,2
18. Außentür	Fenster	7,0	2,030	1,00	14	0,5
19. Fenster Ost in WDVS	Fenster	139,2	1,190	1,00	166	5,5
20. Fenster Süd in WDVS	Fenster	80,1	1,190	1,00	95	3,2
21. Fenster West in WDVS	Fenster	139,2	1,190	1,00	166	5,5
22. Fenster Nord in WDVS	Fenster	36,8	1,190	1,00	44	1,4
23. Glasbausteine Süd in WDVS	Fenster	30,8	1,190	1,00	37	1,2
24. Glasbausteine Süd in Aussenfassad	Fenster	21,6	1,190	1,00	26	0,9
25. Außenwand Süd Hof BT A	Außenwand	287,6	0,245	1,00	70	2,3
26. 0		0,0	0,000	0,00	0	0,0

<input type="checkbox"/> Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten								
<input type="checkbox"/> gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten								
<input type="checkbox"/> konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)								
<input type="checkbox"/> erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)								
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	6677,7	x	0,100	x	1,00	=	668	22,1
Bauteile mit Flächenheizung	0,0				Zuschlag Δ <sub>HT,FH</sub>		0	

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 4036,8

**133,5**

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)}}{\text{lichte Raumhöhe (m)}} = \frac{2603,0}{2,50} = 6507,4 \text{ m}^3$$

<input type="checkbox"/> offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)
<input checked="" type="checkbox"/> Nachweis Dichtheit n <sub>50</sub> ≤ 1,0 1/h
<input type="checkbox"/> freie Lüftung (Fenster+Fugen): n <sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n = 0,000
<input type="checkbox"/> Abluftanlage
<input checked="" type="checkbox"/> Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)
WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt

$$\text{wirksamer Luftwechsel } n_{\text{wirk}} = n_{\text{Anlage}} \cdot \eta_{\text{WRG}} + n_x = 0,400 \cdot (1 - 80\%) + 0,100 = 0,180$$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn **0,0**

**Lüftungswärmeverlust H<sub>V</sub>**  $6507 \text{ m}^3 \cdot 0,180 \text{ 1/h} \cdot 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)} = 398,3 \text{ W/K}$

**13,2**

### Wärmeverluste gesamt

**Summe Wärmeverluste Q<sub>v</sub>**  $4036,8 \text{ W/K} + 398,3 \text{ W/K} = 4435 \text{ W/K}$

**146,7**

### Solare Einstrahlung



# End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: CMS\_EnEV\_Bauteil-30%, Pellests+WRG  
 Variante: Sanierung nach Bauteilverfahren-30%  
 Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude  
 Energiebezugsfläche: 2603,0 m<sup>2</sup>  
 (beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor: 2,7  
 CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent): 740 g/kWh

Hilfs-energie	Teilsysteme		
	TS1	TS2	TS3
Strom-Mix	Holz DIN	-	-
2,7	0,2	0,0	0,0
740	41	0	0

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*: 0,0  
 Bauart Wärmeerzeuger  
 Deckungsanteil  
 Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung  
 Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
 Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

nicht berücksichtigt

Pellet-Feuerung - nur indirekte Wärmeabgabe - nur in Heizperiode	Teilsysteme		
	TS1	TS2	TS3
100%	0%	0%	
0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	

$e_{WW} = f_{WW} \cdot q_{WW} \cdot a_{WW}$

0,0	0,0	0,0	0,0
-----	-----	-----	-----

**Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\***  
 als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn: 0,0

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*: 0,0  
 Bauart Wärmeerzeuger  
 Deckungsanteil  
 Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung  
 Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
 Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Pellet-Feuerung - nur indirekte Wärmeabgabe (bis max. 500 m <sup>2</sup> AN)	Teilsysteme		
	TS1	TS2	TS3
0%	0%	0%	
0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	

$e_W = f_W \cdot q_W \cdot a_W$

4,2	0,0	0,0	0,0
-----	-----	-----	-----

**Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\***

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*: 77,5 (Blatt HW)  
 ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.  $q_H - q_{h,TW} - q_L$ : 77,5  
 Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage  
 Deckungsanteil  
 Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung  
 Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
 Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Pellet-Feuerung - nur indirekte Wärmeabgabe (bis max. 500 m <sup>2</sup> AN)	Teilsysteme		
	TS1	TS2	TS3
100%	0%	0%	
1,09	0,00	0,00	
1,36	0,00	0,00	

$e_{RH} = f_{RH} \cdot q_{RH} \cdot a_{RH}$

0,050	1,477	0,000	0,000
-------	-------	-------	-------

**Endenergie-Bedarf Raumheizung\***

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*: 8,1 (Blatt HZ-K S.2)  
 Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*: 114,5

$e = E_S / A_{EB}$

8,1	114,5	0,0	0,0
-----	-------	-----	-----

Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*  
 Gesamt\*: 10,7

$m_p = e \cdot x_{CO_2}$

6,0	4,7	0,0	0,0
-----	-----	-----	-----

$S \cdot m_p$

10,7			
------	--	--	--

Primärenergie-Bedarf\*  
**Primärenergie-Bedarf Gesamt\***: 44,7

$q_p = e \cdot p$

21,8	22,9	0,0	0,0
------	------	-----	-----

$S \cdot q_p$

44,7			
------	--	--	--

**Grenzwert Primärenergie-Bedarf**: 100,0

LEG 100,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) relativ zum Grenzwert: 45%

**Primärenergie-Aufwandszahl**: 0,576

$h_{a,p} = (q_W + q_H) / S \cdot q_p$

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS_Sporthalle_Bestand_hart	Anzahl Vollgeschosse: 1
Variante: Bestand	Anzahl Wohneinheiten: 1
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude
	beheizte Nettogrundfläche: 671,96 m <sup>2</sup>
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 3745,7 m <sup>3</sup>
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabenkung: 10 h/d
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 17,9 °C	Wochenendabsenkung: x
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 365,0 d/a	Wöchentliche Teilbeheizung
	räumliche Teilbeheizung
	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 1198,6 m <sup>2</sup>
	A/V-Verhältnis 0,577 1/m
	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%

**Bezugsfläche:**  
**672 m<sup>2</sup>**

(beheizte Nettogrundfläche)

jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K
1. Außenwand	Außenwand	489,7	3,034	1,00	1486
2. Dach Sporthalle	Dachfläche	365,0	1,306	1,00	477
3. Dach Umkleiden/Duschen	Dachfläche	370,8	0,811	1,00	301
4. Fußboden Sporthalle	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	365,0	0,629	0,50	115
5. Fußboden Umkleiden/Duschen	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	370,8	1,374	0,40	204
6. Fenster Ost	Fenster	13,2	3,200	1,00	42
7. Fenster Süd	Fenster	62,5	3,200	1,00	200
8. Fenster West	Fenster	0,0	3,200	1,00	0
9. Fenster Nord	Fenster	59,9	3,200	1,00	192
10. Eingang West	Fenster	17,9	5,100	1,00	91
11. Eingang Nord	Fenster	38,9	5,100	1,00	198
12. Außentür Eingang Nord	Fenster	7,4	5,100	1,00	38
13. 0		0,0	0,000	0,00	0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten	
gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten	
konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust ≤ 0 W/K (nur LEG)	
erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)	
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	2161,0 x 0,100 x 1,00 = 216
Bauteile mit Flächenheizung	0,0 Zuschlag Δ <sub>HT, FH</sub> 0

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 3559,0

### Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{\text{beheizte Nettogrundfläche (m}^2\text{)} \times \text{lichte Raumhöhe (m)}}{1} = 672,0 \times 2,50 = 1679,9 \text{ m}^3$$

#### offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)

Nachweis Dichtheit  $n_{50} \leq -$  1/h

freie Lüftung (Fenster+Fugen):  $n_{\text{wirk}} = \text{natürl. Luftwechsel } n = 0,900$

#### Abluftanlage

#### Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt  $n_{\text{Anlage}}$   $\eta_{\text{WRG}}$   $n_x$

wirksamer Luftwechsel  $n_{\text{wirk}} = 0,000 \times (1 - 0\%) + 0,000 = 0,000$

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn **0,0**

**Lüftungswärmeverlust H<sub>V</sub>** 60,0

### Wärmeverluste gesamt

**Summe Wärmeverluste Q<sub>v</sub>** 475,3

### Solare Einstrahlung

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	solare Apertur m <sup>2</sup>
1. Fenster Ost	O/W	0,509	0,45	13,2	3,0
2. Fenster Süd	S	0,509	0,45	62,5	14,3
3. Fenster West	O/W	0,509	0,75	0,0	0,0
4. Fenster Nord	N	0,509	0,45	59,9	13,7
5. Eingang West	O/W	0,509	0,75	17,9	6,8
6. Eingang Nord	N	0,509	0,80	38,9	15,8
7. Außentür Eingang Nord	N	0,509	0,80	7,4	3,0
8. -	-	0,000	0,00	0,0	0,0
9. -	-	0,000	0,00	0,0	0,0
10. -	-	0,000	0,00	0,0	0,0

jährliche nutzbare Gewinne flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

2,5

15,0

0,0

7,1

5,6

8,2

1,6

0,0

0,0

0,0

0,0

0,0

40,1

### Innere Wärmequellen

Druck: 04.06.2008 18:10 spezif. Leistung q<sub>i</sub> W/m<sup>2</sup>

A<sub>EB</sub> m<sup>2</sup>

W



# End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: CMS\_Sporthalle\_Bestand\_hart

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Bestand

Energiebezugsfläche: 672,0 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor  
CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Erdgas	-	-	-
2,7	1,1	0,0	0,0	-
740	270	0	0	g/kWh

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

zentral  
q<sub>W</sub> 15,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

	zentral	Teilsysteme			
		TS1	TS2	TS3	
Konstanttemperaturkessel	-	-	-	-	-
f <sub>W</sub>	100%	0%	0%	0%	-
a <sub>W</sub>	1,00	0,00	0,00	0,00	-
a <sub>W</sub>	1,41	0,00	0,00	0,00	-
a <sub>W</sub>	0,014	1,414	0,000	0,000	-
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,2	21,2	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	0,0				kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

q<sub>W</sub> 0,0 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

	zentral	Teilsysteme			
		TS1	TS2	TS3	
f <sub>W</sub>	0%	0%	0%	0%	-
a <sub>W</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	-
a <sub>W</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	-
a <sub>W</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	-
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

q<sub>H</sub> 409,2 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Blatt HW)

ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.

q<sub>H</sub>-q<sub>h,TW</sub>-q<sub>L</sub> 409,2 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

	zentral	Teilsysteme			
		TS1	TS2	TS3	
Konstanttemperaturkessel, außerhalb therm. Hülle	-	-	-	-	-
f <sub>W</sub>	100%	0%	0%	0%	-
a <sub>W</sub>	1,03	0,00	0,00	0,00	-
a <sub>W</sub>	1,21	0,00	0,00	0,00	-
a <sub>W</sub>	0,006	1,249	0,000	0,000	-
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	2,3	510,9	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

e = E<sub>S</sub> / A<sub>EB</sub> 2,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) (Blatt HZ-K S.2)

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

e = e<sub>H</sub> + e<sub>W</sub> 532,1 kWh/(m<sup>2</sup>a)Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*m<sub>p</sub> = e · x<sub>CO2</sub> 1,9 kg/(m<sup>2</sup>a)

Gesamt\*

S m<sub>p</sub> 145,5 kg/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf\*

q<sub>p</sub> = e · p 6,8 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

S q<sub>p</sub> 592,1 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

LEG 100,0 kWh/(m<sup>2</sup>a) relativ zum Grenzwert: 592%

Primärenergie-Aufwandszahl

h<sub>a,p</sub> = (q<sub>W</sub> + q<sub>H</sub>) / S q<sub>p</sub> 1,396\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: **CMS\_Hausmeisterwohnung**

Variante: **Bestand**

Standort: **Frankfurt** Gebäudeart / -nutzung: **Wohngebäude**

Klima: **Frankfurt (Region 12)**

Raum-Solltemperatur: **21,0** °C Nachtabsenkung: **7** h/d

resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: **14,4** °C Wochenendabsenkung:

Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): **365,0** d/a iliche Teilbeheizung **X**

räumliche Teilbeheizung **X**

Anzahl Vollgeschosse: **1**

Anzahl Wohneinheiten: **1**

beheizte Wohnfläche: **96,1** m<sup>2</sup>

beheiztes Gebäudevol. (brutto) **340,7** m<sup>3</sup>

"Gebäudenutzfläche" A<sub>N</sub>: **109,0** m<sup>2</sup>

A/V-Verhältnis **1,134** 1/m

nicht direkt beheizter Raumanteil **23%**

**Bezugsfläche:**  
**96,1 m<sup>2</sup>**

(beheizte Wohnfläche)

jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K
1. Außenwand	Außenwand	131,8	3,034	1,00	400
2. Dach	Dachfläche	116,3	0,811	1,00	94
3. Fußboden	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	116,3	1,374	0,65	104
4. Fenster Ost	Fenster	9,5	3,200	1,00	31
5. Fenster Süd	Fenster	1,0	3,200	1,00	3
6. Fenster West	Fenster	6,8	3,200	1,00	22
7. Fenster Nord	Fenster	4,5	3,200	1,00	15
8. 0		0,0	0,000	0,00	0

232,0  
54,7  
60,3  
17,7  
1,8  
12,7  
8,4  
0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten

gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten

konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)

erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)

pauschaler Wärmebrückenzuschlag **386,3** x **0,100** x **1,00** = **39**

Bauteile mit Flächenheizung **0,0** Zuschlag Δ<sub>HT,FH</sub> **0**

22,4

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe **706,7**

**410,1**

### Lüftung

beheizte Wohnfläche m<sup>2</sup> **96,1** x lichte Raumhöhe m **2,50** = Luftvolumen V<sub>L</sub> m<sup>3</sup> **240,3**

offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)

Nachweis Dichtheit n<sub>50</sub> ≤ **-** 1/h

**X** freie Lüftung (Fenster+Fugen): n<sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n **0,600**

Abluftanlage

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt

n<sub>Anlage</sub> 1/h **0,000** η<sub>WRG</sub> **0%** n<sub>x</sub> 1/h **0,000**

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn **0,0**

**Lüftungswärmeverlust H<sub>V</sub>** **240** x **0,600** x **0,34** = **49,0**

**28,4**

### Wärmeverluste gesamt

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>** **706,7** + **49,0** = **756**

**438,5**

### Solare Einstrahlung

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	solare Apertur m <sup>2</sup>
1. Fenster Ost	O/W	0,509	0,75	9,5	3,6
2. Fenster Süd	S	0,509	0,45	1,0	0,2
3. Fenster West	O/W	0,509	0,75	6,8	2,6
4. Fenster Nord	N	0,509	0,75	4,5	1,7
5.	-	0,000	0,00	0,0	0,0
6.	-	0,000	0,00	0,0	0,0
7.	-	0,000	0,00	0,0	0,0
8.	-	0,000	0,00	0,0	0,0
9.	-	0,000	0,00	0,0	0,0
10.	-	0,000	0,00	0,0	0,0

jährliche nutzbare Gewinne flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

21,2  
1,7  
15,2  
6,4  
0,0  
0,0  
0,0  
0,0  
0,0  
0,0  
**44,5**

### Innere Wärmequellen

**Innere Wärmequellen Q<sub>i</sub>** spezif. Leistung q<sub>i</sub> W/m<sup>2</sup> **2,5** x A<sub>Eb</sub> m<sup>2</sup> **96,1** = **240** W

**20,1**

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Raumsolltemperatur [°C]	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
mittlere Außentemperatur [°C]	0,7	1,8	5,2	9,2	13,7	17,1	18,9	18,3	14,8	9,8	4,7	1,8



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: CMS\_Hausmeisterwohnung

Gebäudetyp: Wohngebäude

Variante: Bestand

Energiebezugsfläche: 96,1 m<sup>2</sup>

(beheizte Wohnfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor  
CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Erdgas	-	-	-
2,7	1,1	0,0	0,0	-
740	270	0	0	0

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

zentral				
q <sub>W</sub>	13,0			kWh/(m <sup>2</sup> a)
f <sub>W</sub>				-
a <sub>W</sub>				-
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

q <sub>W</sub>	0,0				kWh/(m <sup>2</sup> a)
f <sub>W</sub>					-
a <sub>W</sub>					-
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

q <sub>H</sub>	374,0	(Blatt HW)			kWh/(m <sup>2</sup> a)
q <sub>H</sub> - q <sub>h,TW</sub> - q <sub>L</sub>	374,0				kWh/(m <sup>2</sup> a)
f <sub>W</sub>					-
a <sub>W</sub>					-
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,011	1,438	0,000	0,000	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	4,2	537,7	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*

Gesamt\*

Primärenergie-Bedarf\*

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

Primärenergie-Aufwandszahl

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

e = E <sub>S</sub> / A <sub>EB</sub>	4,2	(Blatt HZ-K S.2)			kWh/(m <sup>2</sup> a)
e = e <sub>H</sub> + e <sub>W</sub>	537,7	0,0	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
m <sub>p</sub> = e · x <sub>CO<sub>2</sub></sub>	3,1	145,2	0,0	0,0	kg/(m <sup>2</sup> a)
S m <sub>p</sub>	148,3				kg/(m <sup>2</sup> a)
q <sub>p</sub> = e · p	11,3	591,5	0,0	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
S q <sub>p</sub>	602,8				kWh/(m <sup>2</sup> a)
LEG	100,0				kWh/(m <sup>2</sup> a) relativ zum Grenzwert: 603%
h <sub>a,p</sub> = (q <sub>W</sub> + q <sub>H</sub> ) / S q <sub>p</sub>	1,558				-

Energiepass Heizung / Warmwasser



Institut Wohnen und Umwelt – 27-08-2007



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: IPI-Bau mit Toiletten	Anzahl Vollgeschosse: 3
Variante: Bestand	Anzahl Wohneinheiten: 1
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheizte Nettogrundfläche: 1325,94 m <sup>2</sup>
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabenkung: 16 h/d
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 18,3 °C	Wochenendabsenkung: x
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 261,9 d/a	iliche Teilbeheizung
	räumliche Teilbeheizung
	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 4903,0 m <sup>3</sup>
	"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 1569,0 m <sup>2</sup>
	A/V-Verhältnis 0,464 1/m
	nicht direkt beheizter Raumanteil 0%

**Bezugsfläche:**  
**1325,9 m<sup>2</sup>**

(beheizte Nettogrundfläche)

 jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K
1. Außenwand	Außenwand	529,3	0,492	1,00	260
2. Dach	Dachfläche	704,5	0,374	1,00	263
3. Boden	Fußb. zum unbeh. Keller ohne Perimeterdäm.	711,2	0,663	0,65	306
4. Fenster Ost	Fenster	85,4	2,000	1,00	171
5. Fenster Süd	Fenster	103,7	2,000	1,00	207
6. Fenster West	Fenster	85,4	2,000	1,00	171
7. Fenster Nord	Fenster	42,5	2,000	1,00	85
8. Fenster horizontal	Fenster	6,8	3,500	1,00	24
9. Außentür	Fenster	5,0	2,000	1,00	10
10. 0	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	0,0	0,000	0,40	0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten

gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten

konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust &lt;= 0 W/K (nur LEG)

erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)

pauschaler Wärmebrückenzuschlag	2273,8	x	0,100	x	1,00	=	227	13,9
Bauteile mit Flächenheizung	0,0				Zuschlag Δ <sub>HT,FH</sub>		0	

### Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>

Summe 1725,6

105,8

### Lüftung

beheizte Nettogrundfläche m <sup>2</sup>	lichte Raumhöhe m	
Luftvolumen V <sub>L</sub> 1325,9	x	2,50 = 3314,9 m <sup>3</sup>

offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)

 Nachweis Dichtheit n<sub>50</sub> ≤ - 1/h

 x freie Lüftung (Fenster+Fugen): n<sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n 0,600

Abluftanlage

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt

n <sub>Anlage</sub> 1/h	η <sub>WRG</sub>	n <sub>x</sub> 1/h	
wirksamer Luftwechsel n <sub>wirk</sub> 0,000	x (1 - 0%) +	0,000	= 0,000

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn 0,0

V <sub>L</sub> m <sup>3</sup>	n <sub>wirk</sub> 1/h	c <sub>Luft</sub> Wh/(m <sup>3</sup> K)	W/K
3315	x	0,600	x
		0,34	= 676,2

### Lüftungswärmeverlust H<sub>V</sub>

41,4

### Wärmeverluste gesamt

H <sub>T</sub> W/K	H <sub>V</sub> W/K	W/K kWh/a
1725,6	+	676,2
		= 2402

147,2

### Solare Einstrahlung

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	solare Apertur m <sup>2</sup>
1. Fenster Ost	O/W	0,436	x 0,75	85,4	= 27,9
2. Fenster Süd	S	0,436	x 0,45	103,7	= 20,3
3. Fenster West	O/W	0,436	x 0,45	85,4	= 16,8
4. Fenster Nord	N	0,436	x 0,75	42,5	= 13,9
5. Lichtkuppeln	H	0,436	x 0,75	6,8	= 2,2
6. Außentür	S	0,436	x 0,75	5,0	= 1,6
7.	-	0,000	x 0,00	0,0	= 0,0
8.	-	0,000	x 0,00	0,0	= 0,0
9.	-	0,000	x 0,00	0,0	= 0,0
10.	-	0,000	x 0,00	0,0	= 0,0

 jährliche nutzbare Gewinne flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

10,1

9,8

6,1

3,2

1,3

0,8

0,0

0,0

0,0

0,0

31,3

### Innere Wärmequellen

spezif. Leistung q <sub>i</sub> W/m <sup>2</sup>	A <sub>EB</sub> m <sup>2</sup>	W
3,3	x	1325,9 = 4376

 Innere Wärmequellen Q<sub>i</sub>

24,3



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: **IPI-Bau mit Toiletten** GebäudeTyp: **Sonstige Nichtwohngebäude**  
 Variante: **Bestand** Energiebezugsfläche: **1325,9** m<sup>2</sup>  
 (beheizte Nettogrundfläche)

### Energieträger

Primärenergie-Faktor  
 CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme		
	TS1	TS2	TS3
Strom-Mix	Erdgas	-	-
2,7	1,1	0,0	0,0
740	270	0	0

### Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*  
 Bauart Wärmeerzeuger  
 Deckungsanteil  
 Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung  
 Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
 Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt  
**Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\***  
 als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

nicht berücksichtigt

q <sub>W</sub>	0,0			
f <sub>W</sub>		100%	0%	0%
a <sub>W</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0

### Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*  
 Bauart Wärmeerzeuger  
 Deckungsanteil  
 Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung  
 Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
 Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt  
**Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\***

<http://www.dw-medien.de/infoing/browserview.php?PID=1897769&EID=2273009&AID=488>

q <sub>H</sub>	0,0			
f <sub>W</sub>		0%	0%	0%
a <sub>W</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000
e <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0

### Raumheizung

Heizwärmebedarf\*  
 ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl.  
 Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage  
 Deckungsanteil  
 Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung  
 Aufwandszahl Wärmeerzeugung  
 Aufwandszahl Raumheizung gesamt  
**Endenergie-Bedarf Raumheizung\***

q<sub>H</sub> 91,7 (Blatt HW)  
 q<sub>H</sub> - q<sub>h,TW</sub> - q<sub>L</sub> 91,7

f <sub>W</sub>		100%	0%	0%
a <sub>W</sub>	1,07	0,00	0,00	0,00
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	1,0	117,0	0,0	0,0

### Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*  
 Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*  
 Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*  
 Gesamt\*  
 Primärenergie-Bedarf\*  
**Primärenergie-Bedarf Gesamt\***  
**Grenzwert Primärenergie-Bedarf**  
**Primärenergie-Aufwandszahl**

e = E<sub>S</sub> / A<sub>EB</sub> 1,0 (Blatt HZ-K S.2)  
 e = e<sub>H</sub> + e<sub>W</sub> 117,0 0,0 0,0  
 m<sub>p</sub> = e · x<sub>CO2</sub> 0,7 31,6 0,0 0,0  
 S m<sub>p</sub> 32,3  
 q<sub>p</sub> = e · p 2,6 128,7 0,0 0,0  
 S q<sub>p</sub> **131,3** kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 LEG **100,0** kWh/(m<sup>2</sup>a) relativ zum Grenzwert: **131%**  
 h<sub>a,p</sub> = (q<sub>W</sub> + q<sub>H</sub>) / S q<sub>p</sub> **1,432**

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche



# Heizwärmebedarf – Objekt-Kennwert: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

## Berechnung nach DIN V 4108-6 Monatsbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)"

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro eboek - 72003 Tübingen

Projekt: Sonstige Bauteile: Singsaal, Bt. D (WCs), Pavillon	Anzahl Vollgeschosse: 1		
Variante: Bestand	Anzahl Wohneinheiten: 1		
Standort: Frankfurt	Gebäudeart / -nutzung: sonstige Nichtwohngebäude	beheizte Nettogrundfläche: 359,37 m <sup>2</sup>	
Klima: Frankfurt (Region 12)	beheiztes Gebäudevol. (brutto) 1423,6 m <sup>3</sup>	<b>Bezugsfläche:</b> <b>359,4 m<sup>2</sup></b> (beheizte Nettogrundfläche)  jährliche Wärmeverluste flächenbezogen kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Raum-Solltemperatur: 21,0 °C	Nachtabsenkung: 16 h/d		"Gebäudenutzfläche" A <sub>N</sub> : 455,6 m <sup>2</sup>
resultierende mittl. Raumtemp. Heizzeit: 14,9 °C	Wochenendabsenkung: x		A/V-Verhältnis 1,036 1/m
Länge der Heizzeit (variabel, Berechnung s.u.): 365,0 d/a	iliche Teilbeheizung		nicht direkt beheizter Raumanteil 0%
	räumliche Teilbeheizung		

### Transmission

Bauteil-Bezeichnung	Bauteil-Art	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	W/K	
1. Außenwand Singsaal, WC	Außenwand	299,3	3,034	1,00	908	148,7
2. Außenwand Schülertreff	Außenwand	168,0	0,579	1,00	97	15,9
3. Dach Singsaal, WC	Dachfläche	265,0	0,763	1,00	202	33,1
4. Dach Schülertreff	Dachfläche	176,0	0,598	1,00	105	17,2
5. Fußboden Singsaal, WC	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	265,0	1,608	0,40	170	27,9
6. Fußboden Schülertreff	Fußb. auf Erdr. ohne Randdämmung	176,0	0,674	0,50	59	9,7
7. Fenster Ost Singsaal, WC	Fenster	8,5	3,100	1,00	26	4,3
8. Fenster Ost Schülertreff	Fenster	26,4	1,600	1,00	42	6,9
9. Fenster Süd Singsaal, WC	Fenster	18,4	3,100	1,00	57	9,3
10. Fenster Süd Schülertreff	Fenster	0,0	1,600	1,00	0	0,0
11. Fenster West Singsaal, WC	Fenster	8,5	3,100	1,00	26	4,3
12. Fenster West Schülertreff	Fenster	26,4	1,600	1,00	42	6,9
13. Fenster Nord Singsaal, WC	Fenster	17,7	3,100	1,00	55	9,0
14. Fenster Nord Schülertreff	Fenster	0,0	1,600	1,00	0	0,0
15. Tür Ost Singsaal	Fenster	20,0	5,100	1,00	102	16,7
16. 0		0,0	0,000	0,00	0	0,0

Minimierung des Wärmebrücken-Einflusses / DIN 4108 Beiblatt 2 eingehalten					
gemäß E DIN EN ISO 10211-2 berechneter Wärmebrückenverlust in obiger Bauteil-Tabelle enthalten					
konstruktive Wärmebrücken kleiner als geometrische Wärmebrücken, Wärmebrückenverlust <= 0 W/K (nur LEG)					
erhebliche Wärmebrücken: Innendämmung auf mehr als 50% der Fassadenfläche (Gebäude mit massiven Geschossdecken)					
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	1475,2	x	0,100	x	1,00 = 148
Bauteile mit Flächenheizung	0,0			Zuschlag Δ <sub>HT, FH</sub>	0

**Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>** Summe 2041,3 **334,4**

### Lüftung

beheizte Nettogrundfläche m <sup>2</sup>	lichte Raumhöhe m	
Luftvolumen V <sub>L</sub> 359,4	x	2,50 = 898,4 m <sup>3</sup>

#### offensichtliche Undichtigkeiten (Bestandsgebäude)

Nachweis Dichtheit	n <sub>50</sub> ≤ - 1/h	
x freie Lüftung (Fenster+Fugen):	n <sub>wirk</sub> = natürl. Luftwechsel n	0,600

#### Abluftanlage

#### Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

WRG (wenn vorh.) bei Anlagent. berücksichtigt	n <sub>Anlage</sub> 1/h	η <sub>WRG</sub> 0%	n <sub>x</sub> 1/h	
wirksamer Luftwechsel n <sub>wirk</sub>	0,000	x (1 - 0%)	+ 0,000	= 0,000

bei der Anlagentechnik zu berücksichtigender Wärmerückgewinn

0,0

V <sub>L</sub> m <sup>3</sup>	n <sub>wirk</sub> 1/h	c <sub>Luft</sub> Wh/(m <sup>3</sup> K)	W/K
898	x	0,600	x 0,34 = 183,3

**Lüftungswärmeverlust H<sub>V</sub>** **30,0**

### Wärmeverluste gesamt

H <sub>T</sub> W/K	H <sub>V</sub> W/K	W/K kWh/a
2041,3	+ 183,3	= 2225

**364,4**

### Solare Einstrahlung

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	solare Apertur m <sup>2</sup>	
1. Fenster Ost Singsaal, W	O/W	0,509	0,45	8,5	1,9	2,9
2. Fenster Ost Schülertreff	O/W	0,509	0,60	26,4	8,1	12,1
3. Fenster Süd Singsaal, W	S	0,509	0,45	18,4	4,2	8,2
4. Fenster Süd Schülertreff	S	0,509	0,60	0,0	0,0	0,0
5. Fenster West Singsaal, W	O/W	0,509	0,45	8,5	1,9	2,9
6. Fenster West Schülertreff	O/W	0,509	0,60	26,4	8,1	12,1
7. Fenster Nord Singsaal, W	N	0,509	0,45	17,7	4,1	3,9
8. Fenster Nord Schülertreff	N	0,509	0,60	0,0	0,0	0,0
9. Tür Ost Singsaal	O/W	0,509	0,45	20,0	4,6	6,9

jährliche nutzbare Gebwinne flächenbezogen kWh/(m<sup>2</sup>a)

2,9

12,1

8,2

0,0

2,9

12,1

3,9

0,0

6,9



## End- und Primärenergiebedarf – Objekt-Kennwert

Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach LEG Monat

EnEV-XL 3.0 - Lizenznehmer: Ingenieurbüro ebock - 72003 Tübingen

Projekt: Sonstige Bauteile: Singsaal, Bt. D (WCs), Pavillon

Gebäudetyp: Sonstige Nichtwohngebäude

Variante: Bestand

Energiebezugsfläche: 359,4 m<sup>2</sup>

(beheizte Nettogrundfläche)

## Energieträger

Primärenergie-Faktor

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Hilfs-energie	Teilsysteme			g/kWh
	TS1	TS2	TS3	
Strom-Mix	Erdgas	-	-	
2,7	1,1	0,0	0,0	-
740	270	0	0	

## Warmwasserbereitung

Nutzenergiebedarf Warmwasser\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Warmwasserbereitung gesamt

Endenergie-Bedarf Warmwasserbereitung\*

als Heizwärmebeitrag nutzbarer Wärmegewinn

nicht berücksichtigt	Teilsysteme			kWh/(m <sup>2</sup> a)
	TS1	TS2	TS3	
q <sub>W</sub>	0,0			
f <sub>W</sub>	100%	0%	0%	
a <sub>W</sub>	0,00	0,00	0,00	
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	

## Lüftungsanlage

Heizwärmebeitrag Lüftungsanlage\*

Bauart Wärmeerzeuger

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe und Wärmeverteilung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Lüftungsanlage gesamt

Endenergie-Bedarf Lüftungsanlage\*

nicht berücksichtigt	Teilsysteme			kWh/(m <sup>2</sup> a)
	TS1	TS2	TS3	
q <sub>W</sub>	0,0			
f <sub>W</sub>	0%	0%	0%	
a <sub>W</sub>	0,00	0,00	0,00	
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	0,0	0,0	0,0	

## Raumheizung

Heizwärmebedarf\*

ohne Heizwärmebeitrag WW u. Lüftungsanl. q<sub>h</sub>-q<sub>h,TW</sub>-q<sub>L</sub>

Bauart Wärmeerzeuger Heizungsanlage

Deckungsanteil

Aufwandszahl Übergabe, Wärmeverteilung und -speicherung

Aufwandszahl Wärmeerzeugung

Aufwandszahl Raumheizung gesamt

Endenergie-Bedarf Raumheizung\*

Konstanttemperaturkessel, außerhalb therm. Hülle	Teilsysteme			kWh/(m <sup>2</sup> a)
	TS1	TS2	TS3	
q <sub>H</sub>	289,4			
f <sub>W</sub>	100%	0%	0%	
a <sub>W</sub>	1,03	0,00	0,00	
e <sub>W</sub> = f <sub>W</sub> · q <sub>W</sub> · a <sub>W</sub>	1,9	374,4	0,0	

## Gesamt

Endenergie-Bedarf Elektro-Hilfsgeräte\*

Endenergie-Bedarf Heizung + Warmwasser\*

Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent\*

Gesamt\*

Primärenergie-Bedarf\*

Primärenergie-Bedarf Gesamt\*

Grenzwert Primärenergie-Bedarf

Primärenergie-Aufwandszahl

e = E <sub>S</sub> / A <sub>EB</sub>	1,9			
e = e <sub>H</sub> + e <sub>W</sub>	374,4	0,0	0,0	
m <sub>p</sub> = e · x <sub>CO2</sub>	1,4	101,1	0,0	
S m <sub>p</sub>	102,5			
q <sub>p</sub> = e · p	5,1	411,9	0,0	
S q <sub>p</sub>	417,0			
LEG	100,0			relativ zum Grenzwert: 417%
h <sub>a,p</sub> = (q <sub>W</sub> + q <sub>H</sub> ) / S q <sub>p</sub>	1,441			

\*) pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

Energiepass Heizung / Warmwasser



Institut Wohnen und Umwelt – 27-08-2007





Ingenieurbüro Schellingstraße 4/2  
D-72072 Tübingen  
Telefon 0 70 71 93 94 0  
Telefax 0 70 71 93 94 99  
[mail@eboek.de](mailto:mail@eboek.de)  
[www.eboek.de](http://www.eboek.de)

# Merkblatt

## Lüftung und Luftqualität in Schulen



Stand:

Dezember 2007

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Rochard

Dipl.-Phys. Matthias Laidig

# 1 Anforderung und Ausgangssituation

In Deutschland verbringen etwa 10 Mio. Schülerinnen und Schüler viele Stunden am Tag in Schulräumen. Mehrere Untersuchungen (Grams/2003, Zenger/2003, Lahrz/2003, Fromme/2004) haben gezeigt, dass die Raumluftqualität in Klassenzimmern vielfach unbefriedigend ist.

Schlechte Raumluftqualität verringert jedoch Leistungsfähigkeit, Aufmerksamkeit und Lernvermögen. Klagen über schlechte Luftqualität stehen oft im Zusammenhang mit Kopfschmerzen, Unkonzentriertheit und Ermüdung.

In der in den letzten Jahren verstärkt geführten Diskussion um die Raumluftqualität in Schulen wird übereinstimmend eine dringende Verbesserung der bestehenden Situation gefordert.

Luftbelastungen in Klassenzimmern entstehen im Wesentlichen durch menschliche Stoffwechselprodukte, die ausgeatmet oder in die Raumluft emittiert werden. Weitere Beeinträchtigungen entstehen durch Emissionen aus Einrichtungsgegenständen wie Möbeln und Baumaterialien wie Teppichböden oder Deckenbekleidungen.

Für eine gute Innenraum-Luftqualität, sollten zunächst vermeidbare Schadstoffquellen reduziert oder gar nicht erst eingebracht werden. Bei Neubauten sollten daher nur emissionsarme Baustoffe, Baumaterialien und Möbel verwendet werden. Im Zuge einer Sanierung sollten mögliche vorhandene Quellen qualifiziert beurteilt und gegebenenfalls ausgetauscht werden.

Als Maß für die Raumluftbelastungen, die von menschlichem Stoffwechsel ausgeht, kann der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Raumluft gelten. Da auch die Abgabe von Geruchsstoffen mit dem Grad der körperlichen Aktivität zusammenhängt, kann der  $\text{CO}_2$ -Gehalt auch als geeigneter Indikator für geruchliche Luftbelastungen herangezogen werden.

Bereits vor 150 Jahren empfahl der Chemiker und Hygieniker Max von Pettenkofer für eine akzeptable Lufthygiene eine maximale  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Raumluft von 0,1 Vol. % (1000 ppm). Heute noch wird deswegen dieser Grenzwert Pettenkofergrenze genannt.



Abb. 1 Max von Pettenkofer  
ca. 1860

Auch moderne Vorschriften orientieren sich an den Erkenntnissen Pettenkofers. Für Versammlungsräume, die mit einer raumluftechnischen Anlage ausgestattet sind, fordert die DIN 1946 Teil 2<sup>1</sup>, als Grenzwert eine maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluf von 0,15 Vol.% (1500 ppm). Das Umweltbundesamt folgt diesen Empfehlungen auch bezüglich eines hygienischen Richtwerts für Schulräume (UBA/2000).

Der Grenzwert wird an Schulen leider häufig deutlich überschritten. So wurden bei Messungen an 40 Berliner Schulen (Lahrz/2003) CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von bis zu 10700 ppm gemessen. In 87% der Klassenräume lag der Tagesmittelwert über der Pettenkofergrenze und bei 53% über 1500 ppm. Eine Untersuchung des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes (Grams/2003) an sieben Schulen ergab, dass der hygienische Richtwert von 0,15 Vol.% während des Winterhalbjahres an fast 90% der Messtage deutlich überschritten wurde. Deutliche Zahlen, die belegen, dass die Luft an den Schulen wahrlich nicht gut ist.

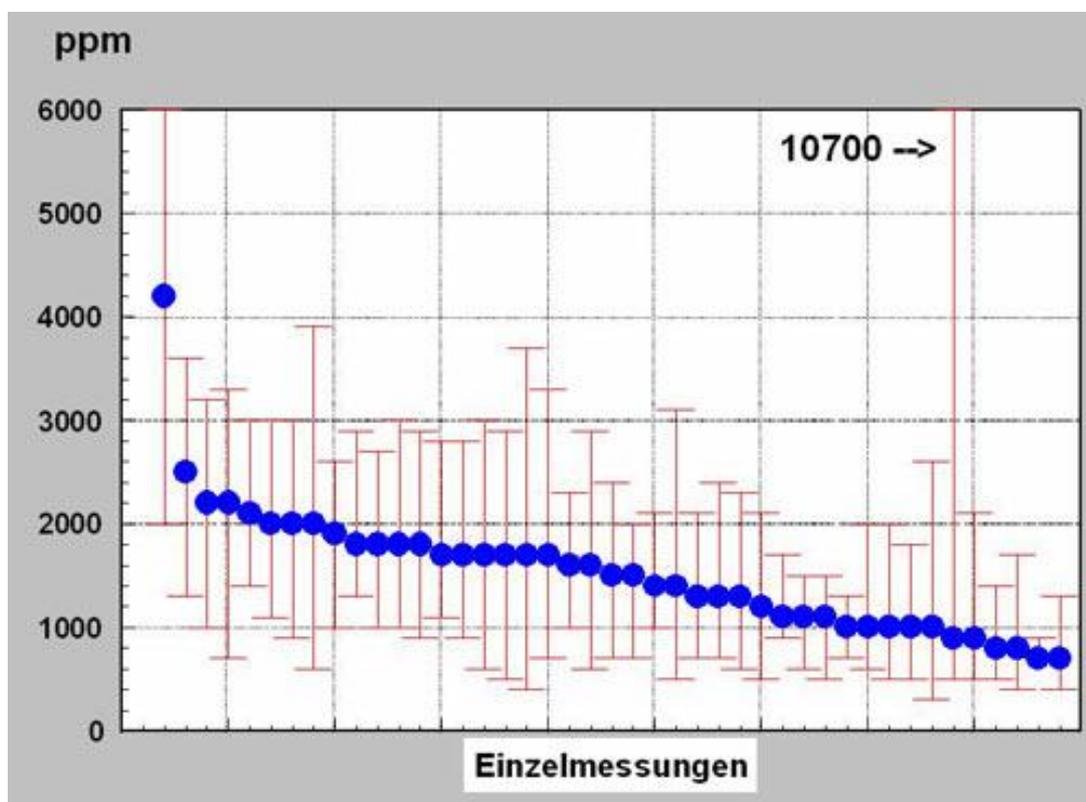


Abb. 2: Bandbreite der Messwerte und Tagesmittelwerte der Kohlendioxidkonzentration in 40 Berliner Schulen (nach Lahrz et al. 2003)

<sup>1</sup> Die DIN 1946 Teil 2 ist inzwischen ersetzt durch DIN EN 13799. Da sich ein Großteil der vorliegenden Untersuchungen auf DIN 1946 beziehen, soll sie hier dennoch zitiert werden.

## 2 Was ist zu tun?

Um die hygienisch erforderliche Innenluftqualität einzuhalten, müssen Klassenräume ausreichend gelüftet werden. Folgende Möglichkeiten bestehen:

- freie Lüftung über offenbare Fenster
- freie Lüftung über spezielle Lüftungseinrichtungen in der Fassade
- freie Lüftung über spezielle Lüftungseinrichtungen in der Fassade im Zusammenhang mit Schachtlüftung
- hybride Lüftungseinrichtungen (durch Ventilatoren unterstützte freie Lüftung)
- mechanische Abluftanlagen mit Nachströmeinrichtungen in der Fassade
- mechanische Zu-/Abluftanlagen (auch mit Wärmerückgewinnung)

Die Wirkung und Effizienz der freien Lüftung ist vom freien Querschnitt der Lüftungsflächen, sowie den antreibenden Kräften wie Wind und Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen abhängig. Mithin ergibt sich eine starke Abhängigkeit von den herrschenden Wetterbedingungen. Insbesondere die Fensterlüftung ist bei kalten Außentemperaturen mit schwerwiegenden Nachteilen verbunden. Gekippte Fenster führen zu nicht akzeptablen raumklimatischen Bedingungen. Auch durch mehrmaliges, kurzes Stoßlüften (notwendig wäre alle 20 Minuten) kann die Einhaltung des hygienischen Richtwertes nicht sichergestellt werden. Abgesehen von der Störung des Unterrichtsablaufs entsteht die unbefriedigende Situation, dass Schüler im Fensterbereich bereits frieren während die Frischluft bei den Schülern an der Innenfassade noch gar nicht angekommen ist.

Übrigens: Die Innenluftqualität ist nicht nur vom Luftwechsel, sondern auch von der Außenluftqualität abhängig. Bei belasteter Außenluft besser auf Lüftung zu verzichten, ist jedoch der falsche Weg. Meist ist die Luftqualität im Innenraum deutlich schlechter als Außen.

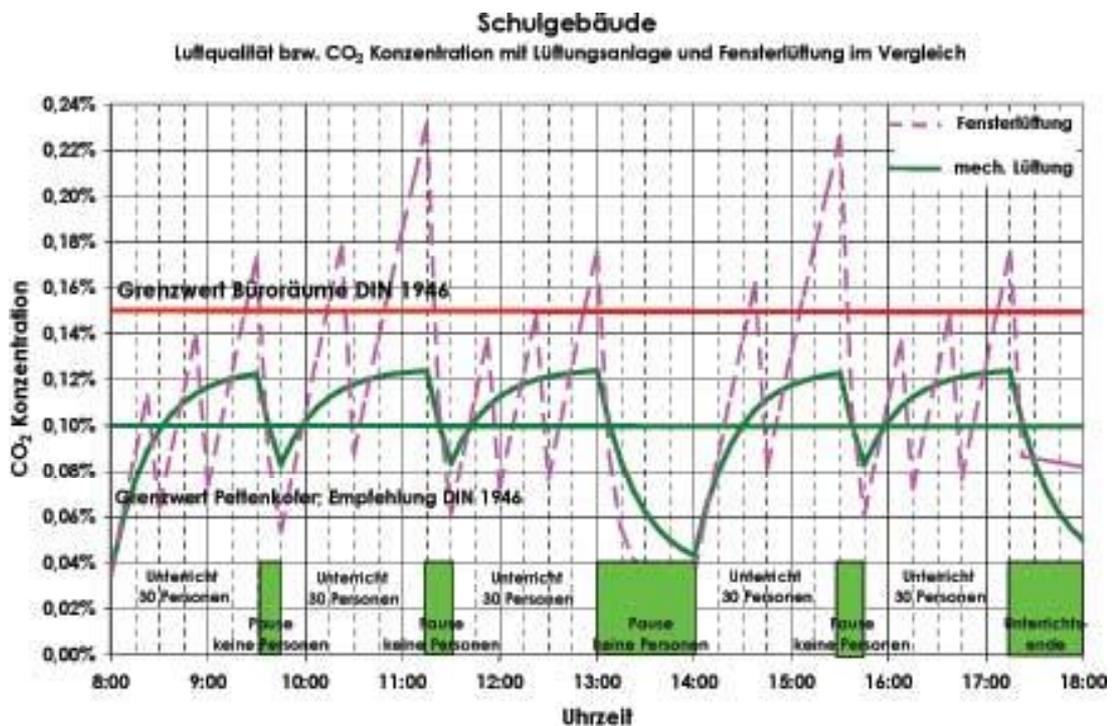


Abb. 3: Auch durch mehrmalige Stoßlüftung wird der hygienische Richtwert von 0,15 Vol.% überschritten. Mit einer Lüftungsanlage bewegt sich dagegen die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Bereich des Pettenkofenwerts von 0,10 Vol%. (Justus-von-Liebig-Schule Waldshut, [www.energiesparschule.de](http://www.energiesparschule.de))

Obige Aussagen werden in Abb. 3 durch Messwerte belegt. Hier wird deutlich, dass **eine dauerhafte Einhaltung des hygienischen Richtwertes unter Einhaltung eines akzeptablen Raumklimazustands nur mit entsprechend dimensionierten Lüftungseinrichtungen oder Lüftungsanlagen erreicht werden kann.**

### 3 Auslegung

Welche Luftwechselrate ist in Schulräumen notwendig? Verschiedene Normen und Richtlinien, die sich auf die Ausstattung von Nichtwohngebäuden mit raumluftechnischen Anlagen beziehen, fordern teilweise Außenluftstraten von 20 bis 30 m<sup>3</sup> je Stunde und Person und darüber. Hier eine kleiner Überblick: In der DIN EN 15251 „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“ (08/2007) wird für die Gebäudekategorie III (annehmbares, moderates Maß an Erwartungen) ein spezifischer Außenluftvolumenstrom von 17 m<sup>3</sup>/(h\*Pers) gefordert. Für die Gebäudekategorie II (Normales Maß an Erwartungen, empfohlen für neue und renovierte Gebäude) ergibt sich ein spezifischer Außenluftvolumenstrom von

30 m<sup>3</sup>/h. Diese Werte gelten für schadstoffarme Gebäude. In der DIN EN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden“ (09/2007), die die DIN 1946 Teil 2 ersetzt, wird für die Klassierung IDA3 (mäßige Raumluftqualität) ein spezifischer Außenluftvolumenstrom zwischen 22 und 36 m<sup>3</sup>/(h·Pers) gefordert. Die Arbeitsstättenrichtlinie 5 „Lüftung“ verlangt 20 – 40 m<sup>3</sup>/(h·Pers) bei überwiegend sitzender Tätigkeit.

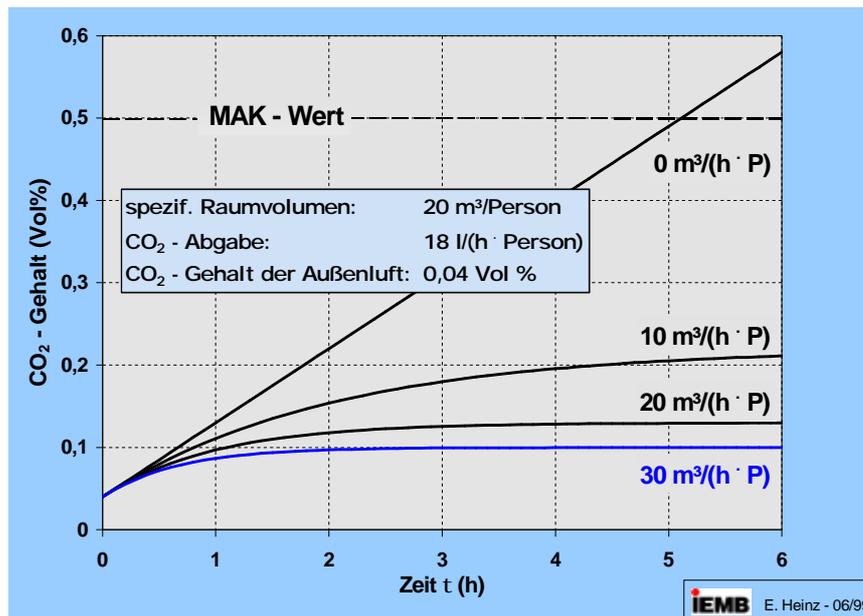


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Raum bei unterschiedlichen Außenluftströmen

Geht man davon aus, dass keine wesentlichen Emissionen aus Baustoffen und Einrichtungsmaterialien vorliegen, kann der erforderliche Außenluftvolumenstrom für die Einhaltung eines bestimmten Grenzwertes für die CO<sub>2</sub>-Konzentration in Abhängigkeit vom Aktivitätsgrad der Nutzer bestimmt werden.

Bei einer CO<sub>2</sub>-Abgabe von 18 l/(h·Pers), was einer sitzenden bis leichten Aktivität im Stehen entspricht, kann die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft mit einer spezifischen Außenluftströme von etwa 15 m<sup>3</sup>/(h·Pers) auf etwa 0,15 Vol.% begrenzt werden (Abb. 4). Nach DIN EN 13779 (Sept. 2007) wird mit dieser Außenluftströme die Klassifizierung IDA4 (niedrige Raumluftqualität) erreicht.

Unter der Voraussetzung, dass Stoßlüftung weiterhin möglich ist, ist dieser Wert für eine hygienische Grundlüftung in Schulräumen ausreichend.



Abb. 5 Schulzentrum Nord Reutlingen. Auch in der Glasfassade sind öffenbare Flügel integriert.

**Unabhängig von der Installation raumluftechnischer Anlagen sollten unbedingt immer die nach geltenden Richtlinien erforderlichen, öffenbaren Fensterflächen vorhanden sein. Zum einen können dadurch raumluftechnische Anlagen kleiner und kostengünstiger dimensioniert werden. Zum anderen ist diese Lüftungsmöglichkeit unverzichtbar im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz.**

## 4 Lüftung und Energieverbrauch

Der Luftwechsel in Gebäuden hat nicht nur Einfluss auf die Raumlufqualität, sondern wirkt sich auch auf den Energiebedarf des Gebäudes aus. Mit zunehmender Wärmedämmung der Gebäudehülle nimmt die Bedeutung der Lüftungswärmeverluste zu, insbesondere wenn – wie in Schulgebäuden – aus hygienischen Gründen ein relativ hoher Luftwechsel erforderlich ist. Beim Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung besteht die Möglichkeit, die Lüftungswärmeverluste auch bei Einhaltung einer hygienisch sinnvollen Raumlufqualität zu minimieren.

## 5 Literatur Lüftung

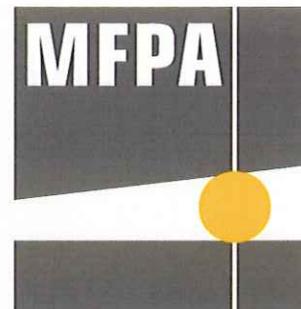
- [ASE/1983] Allgemeine Schulbauempfehlungen für Baden-Württemberg (ASE) vom 8.07.1983
- [ASR5/1979] Arbeitsstättenrichtlinie 5 „Lüftung“ zu §5 der Arbeitsstättenverordnung, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Ausgabe Oktober 1979
- [DIN EN 13779] „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme“, September 2007
- [DIN EN 15251] „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“, August 2007
- [Fromme/2004] Dr. med. H. Fromme: „Frische Luft an bayrischen Schulen“ – Verbesserung der Luftqualität in öffentlichen Innenräumen. Bayrisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2005
- [Grams/2003] Grams, H. et al.: „Aufatmen in Schulen“ – Untersuchungsergebnisse und Modellierungsansätze zur Raumluftqualität in Schulen. Gesundheitswesen; Georg Thieme Verlag Stuttgart, 2003
- [Lahrz/2003] Lahrz, T. et al.: Schwerpunktprogramm zur Untersuchung der Innenraumluftqualität in Berliner Schulen. Bericht des ILAT/BBGes. Berlin 2003
- [UBA/2000] Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes: „Leitfaden für die Innenraumluftthygiene in Schulgebäuden“, Umweltbundesamt, Berlin, 2000
- [Zenger/2003] Zenger, A. et al.: „Energieeinsparung und Luftqualität in Schulen“, Fachhochschule Mainz, Umweltschutz im Bauwesen, 2003



# M F P A Leipzig GmbH

Anerkannte Prüfstelle für Baustoffe, Bauteile und Bauarten

PÜZ-Stelle nach Landesbauordnung (SAC 02), Bauproduktengesetz (NB 0800)



## Geschäftsbereich IV – Bauphysik

Geschäftsbereichsleiter: kommissarisch Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Bauer

Arbeitsgruppe 4.1 – Wärme- und Feuchteschutz

# Prüfbericht

P 4.1/07-278-1

vom 06.03.2008 1. Ausfertigung

- Gegenstand:**
- Berechnung des Wärmedurchgangs durch unterschiedliche Varianten des BWM Fassadenhalter ZeLa
  - Ermittlung des punktuellen Wärmebrückenverlustkoeffizienten und Erstellung von Bemessungsdiagrammen für unterschiedliche Wandkonstruktionen

**Auftraggeber:** BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH  
Ernst - Mey - Str. 1  
70771 Leinfelden-Echterdingen

**Auftragsdatum:** 02.10.2007

**Letzter Eingang der  
Unterlagen:** 18.01.2008

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Daniel Kehl

Dieser Prüfbericht besteht aus 14 Seiten.

Dieser Untersuchungsbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung – auch auszugsweise – bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der M F P A Leipzig GmbH. Als rechtsverbindliche Form gilt die Schriftform mit Originalunterschriften und Originalstempel des/der Zeichnungsberechtigten.

Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt  
für das Bauwesen Leipzig mbH  
Geschäftsführer: Jun.-Prof. Dr.-Ing Frank Dehn  
Sitz: Hans-Weigel-Straße 2b · D - 04319 Leipzig  
Telefon: +49 (0) 341/65 82- 120  
Fax: +49 (0) 341/65 82- 181  
E-Mail: bauer@mfpa-leipzig.de

Handelsregister: Amtsgericht Leipzig HRB 177 19  
Ust.-Nr.: DE 813200649  
Bankverbindung: Sparkasse Leipzig  
Kto.-Nr 1100 560 781  
BLZ 860 555 92

## 1 Auftragsgegenstand

Die BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH hat die MFGPA Leipzig GmbH beauftragt, den Wärmedurchgang durch den BWM Fassadenhalter ZeLa den Wärmedurchgang durch verschiedene Wandsysteme zu berechnen. Dabei variieren die Materialien des Abstandhaltersystems, die Dämmstoffdicken sowie die Wärmedurchlasswiderstände der dahinter liegenden Wandkonstruktion.

## 2 Verwendete Normen und Unterlagen

Folgende Normen und Unterlagen wurden verwendet:

Normen:	
DIN V 4108-4: 2004-07	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte
DIN EN 12524: 2000-07	Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte
DIN EN ISO 6946: 2003-10	Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren
DIN EN ISO 10211-1: 1995-11	Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächen-temperaturen - Allgemeine Berechnungsverfahren.

Unterlagen:	
Richtlinie 1998	Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, EMPA Dübendorf, 1998
Zeichnungen Typ "Z": 2005-11	Zeichnungen der Einzelkomponenten des Wandhalter-Schiensystems der Firma BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH
UB IV/W-05-007	Untersuchungsbericht der MFGPA Leipzig GmbH mit Messung und Berechnung des ZeLa Wandhaltersystems vom 10.01.2006

## 3 Durchführung der Berechnung

### 4.1 Berechnungsmethode

Die Berechnungen erfolgten nach DIN EN ISO 10211-1: 1995-11 mit einem stationären, dreidimensionalen Finite-Differenzen-Programm. Das Modell des Wandhalterungssystems wurde mittels einer Messung an der MFGPA Leipzig GmbH validiert (siehe UB IV/W-05-007).

## 4.2 Stoffkennwerte

Die Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Baustoffe wurden aus DIN V 4108-4: 2004-07 und DIN EN 12524: 2000-07 entnommen bzw. vom Hersteller angegeben:

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit [W/(m · K)]
Aluminiumlegierung	160,00
Stahl	50,00
Edelstahl	17,00
Polyamid (Kopplungsstück)	0,25
PVC (Thermostop)	0,08
Dämmung	0,035
Material Wand 1 (entspricht Beton)	2,30
Material Wand 2 (entspricht KS-Stein; Rohdichte 1800 kg/m <sup>3</sup> )	0,99
Material Wand 3 (entspricht Ziegel; Rohdichte 1400 kg/m <sup>3</sup> )	0,58
Material Wand 4 (entspricht Leichtbeton; Rohdichte 1000 kg/m <sup>3</sup> )	0,36

## 4.3 Randbedingungen

Als Randbedingungen wurden die Lufttemperaturen und die Wärmeübergangswiderstände zur Ermittlung der Wärmebrückenverluste zu beiden Seiten des Bauteils wie folgt vorgegeben:

Randbedingung	Temperatur [°C]*
Temperatur innen	22
Temperatur außen	-8

\* nach der Richtlinie: *Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, 1998*

Randbedingung	Wärmeübergangswiderstand [(m <sup>2</sup> · K)/W]
Wärmeübergangswiderstand innen	0,13
Wärmeübergangswiderstand außen	0,13

## 4.4 Verwendete Wandkonstruktionen

Zur Berechnung des punktuellen Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\chi$  [W/K] wurde das Wandhaltungssystem im Modell zum einen mit unterschiedlichen Verankerungsgründen kombiniert. Dabei wurden die Wärmeleitfähigkeit des 24 cm dicken Verankerungsgrundes sowie die Dämmschichtdicke (14 und 28 cm) variiert. Daraus ergeben sich für die unterschiedlichen Konstruktionen folgende U-Werte und Wärmedurchlasswiderstände nach DIN EN ISO 6946: 2003-10.

Bezeichnung	U-Wert der Gesamtkonstruktion [W/(m <sup>2</sup> · K)]	Wärmedurchlasswiderstand des Verankerungsgrundes R [m <sup>2</sup> K/W]
<b>Wand mit 14 cm Dämmung</b>		
Beton mit $\lambda = 2,3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,229	0,104
Mauerwerk mit $\lambda = 0,99 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,222	0,242
Mauerwerk mit $\lambda = 0,58 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,214	0,414
Mauerwerk mit $\lambda = 0,36 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,203	0,667
<b>Wand mit 28 cm Dämmung</b>		
Beton mit $\lambda = 2,3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,120	0,104
Mauerwerk mit $\lambda = 0,99 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,118	0,242
Mauerwerk mit $\lambda = 0,58 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,115	0,414
Mauerwerk mit $\lambda = 0,36 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	0,112	0,667

Zum anderen wurden die Einzelteile des Wandhaltersystems in unterschiedlichen Materialien ausgeführt. Dabei kamen folgende Varianten zum Einsatz.

Var.	Material Konsole	Material Schwert	„Thermostop“
1	Aluminium	Aluminium	Ja
2	Edelstahl V4A	Aluminium	Nein
3	Edelstahl V4A	Aluminium	Ja
4	Aluminium	Edelstahl V4A	Nein
5	Aluminium	Edelstahl V4A	Ja

**Datenblatt: BWM Unterkonstruktion ZeLa mit thermischer Entkopplung (Variante 1)**

Hersteller: BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH  
 Adresse: Ernst - Mey - Str. 1 / 70771 Leinfelden-Echterdingen  
 Tel./ Fax: +49 (0)711 90313-0 / +49 (0)711 9031320

**Systembeschreibung der Unterkonstruktion:**

**Werkstoff:**

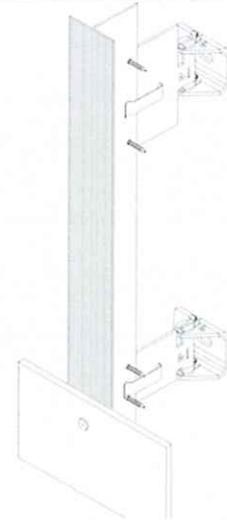
Konsole: **Aluminium**      T-Profil: Aluminium  
 Schwert: **Aluminium**  
 Kupplung: Polyamid      Thermostop: PVC

**Geometrie:**

Konsole: U-Stück 60 / 42 mm / d = 4 mm  
 Schwert: FP 120 / 140 - 220 mm / d = 3 mm  
 T-Tragprofil: 40 / 52 / d = 2 mm

**Verankerung:**

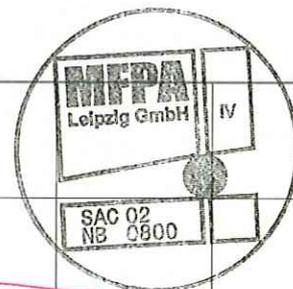
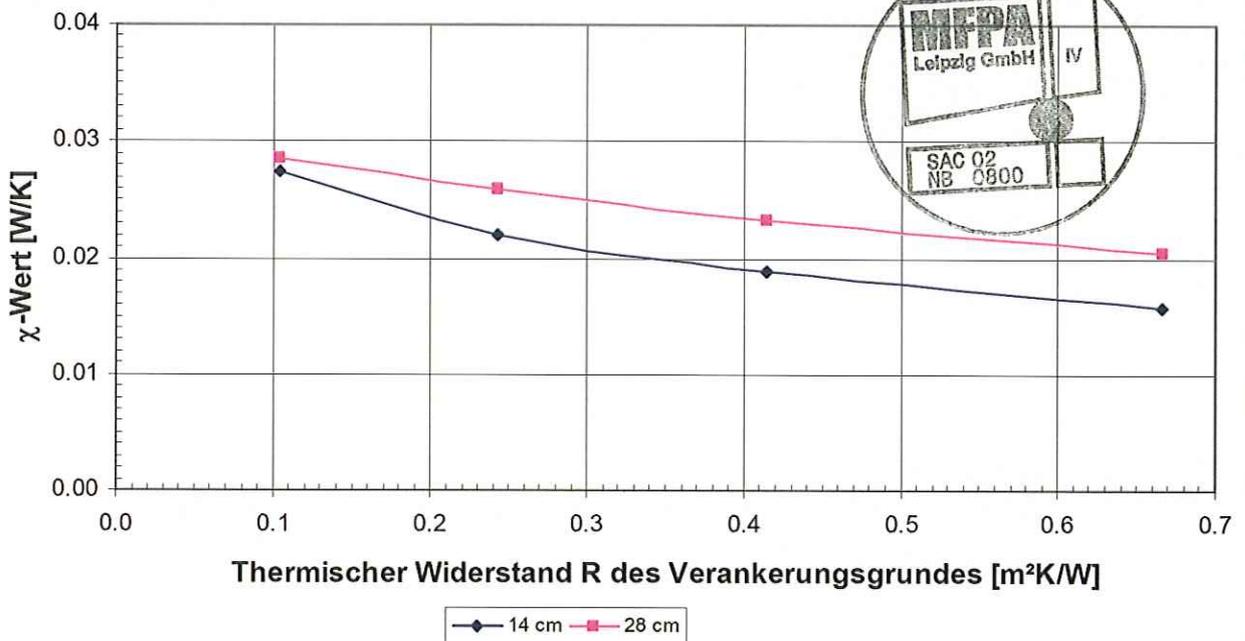
Schraube d = 7 mm verzinkt



**Bemessungsdiagramm**

Wärmebrückenverlust in Abhängigkeit des thermischen Widerstandes R des Verankerungsgrundes und der Dämmstoffstärke

Punktuelle Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\chi$  [W/K]



**Datenblatt: BWM Unterkonstruktion ZeLa mit thermischer Entkopplung (Variante 2)**

Hersteller: BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH  
 Adresse: Ernst - Mey - Str. 1 / 70771 Leinfelden-Echterdingen  
 Tel./ Fax: +49 (0)711 90313-0 / +49 (0)711 9031320

**Systembeschreibung der Unterkonstruktion:**

**Werkstoff:**

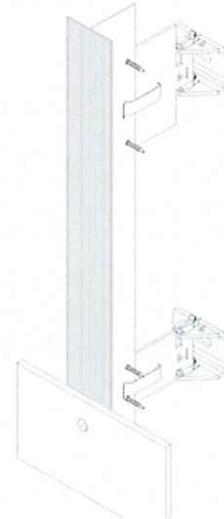
Konsole: **Edelstahl**      T-Profil: **Aluminium**  
 Schwert: **Aluminium**  
 Kupplung: **Polyamid**

**Geometrie:**

Konsole: U-Stück 60 / 42 mm / d = 4 mm  
 Schwert: FP 120 / 140 - 220 mm / d = 3 mm  
 T-Tragprofil: 40 / 52 / d = 2 mm

**Verankerung:**

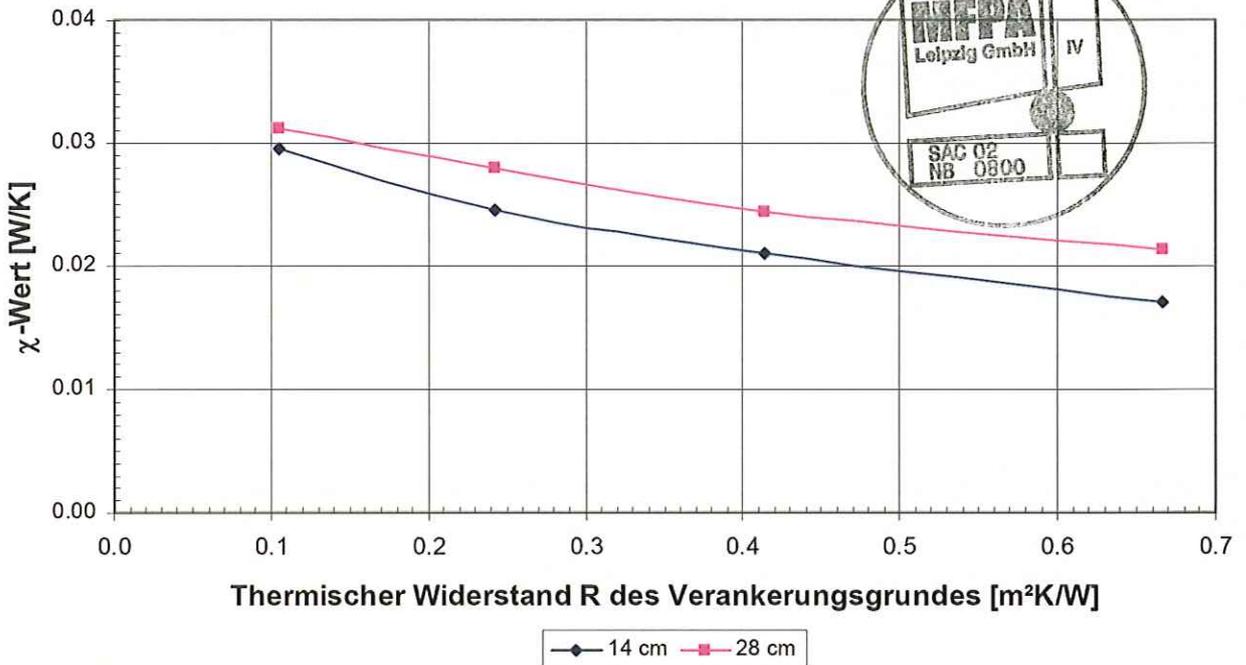
Schraube d = 7 mm verzinkt



**Bemessungsdiagramm**

Wärmebrückenverlust in Abhängigkeit des thermischen Widerstandes R des Verankerungsgrundes und der Dämmstoffstärke

Punktuelle Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\chi$  [W/K]



**Datenblatt: BWM Unterkonstruktion ZeLa mit thermischer Entkopplung (Variante 3)**

Hersteller: BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH  
 Adresse: Ernst - Mey - Str. 1 / 70771 Leinfelden-Echterdingen  
 Tel./ Fax: +49 (0)711 90313-0 / +49 (0)711 9031320

**Systembeschreibung der Unterkonstruktion:**

**Werkstoff:**

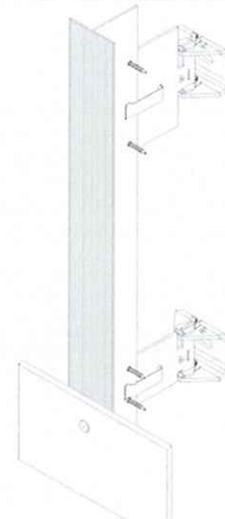
Konsole: **Edelstahl**      T-Profil: Aluminium  
 Schwert: **Aluminium**  
 Kupplung: Polyamid      **Thermostop: PVC**

**Geometrie:**

Konsole: U-Stück 60 / 42 mm / d = 4 mm  
 Schwert: FP 120 / 140 - 220 mm / d = 3 mm  
 T-Tragprofil: 40 / 52 / d = 2 mm

**Verankerung:**

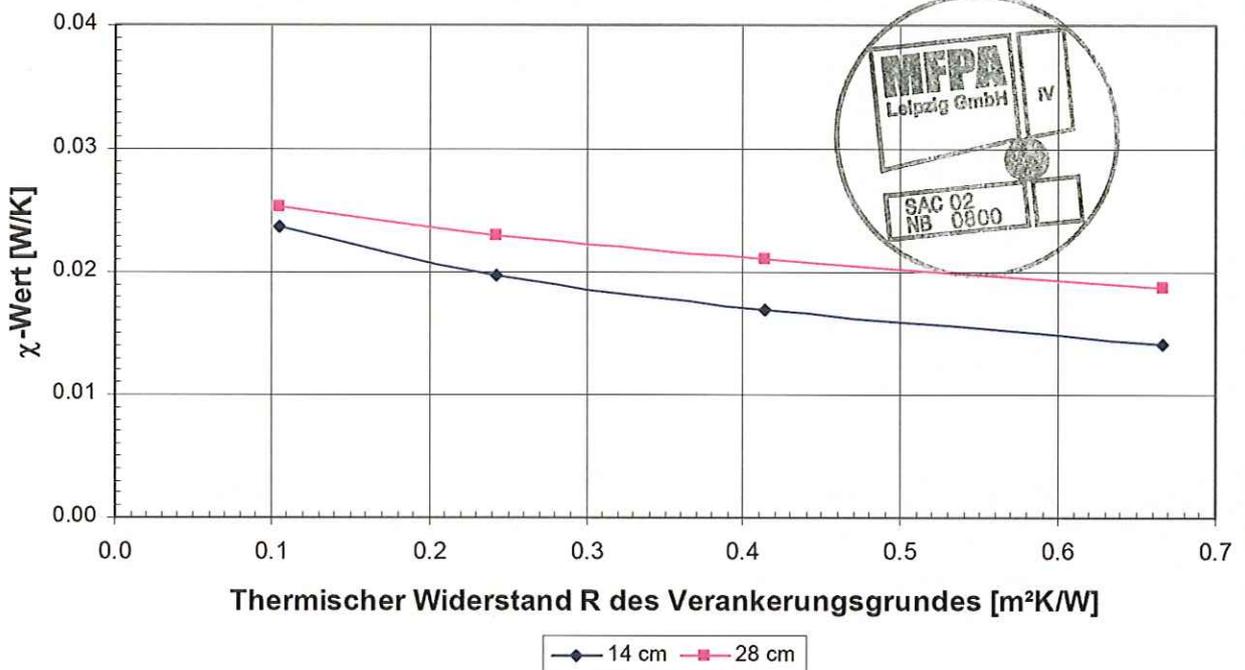
Schraube d = 7 mm verzinkt



**Bemessungsdiagramm**

Wärmebrückenverlust in Abhängigkeit des thermischen Widerstandes R des Verankerungsgrundes und der Dämmstoffstärke

Punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\chi$  [W/K]



**Datenblatt: BWM Unterkonstruktion ZeLa mit thermischer Entkopplung (Variante 4)**

Hersteller: BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH  
 Adresse: Ernst - Mey - Str. 1 / 70771 Leinfelden-Echterdingen  
 Tel./ Fax: +49 (0)711 90313-0 / +49 (0)711 9031320

**Systembeschreibung der Unterkonstruktion:**

**Werkstoff:**

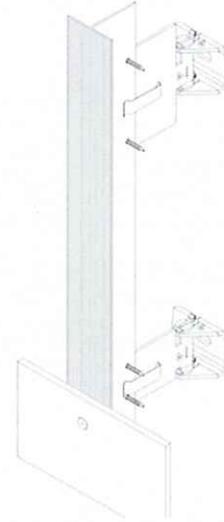
Konsole: **Aluminium** T-Profil: Aluminium  
 Schwert: **Edelstahl**  
 Kupplung: Polyamid

**Geometrie:**

Konsole: U-Stück 60 / 42 mm / d = 4 mm  
 Schwert: FP 120 / 140 - 220 mm / d = 3 mm  
 T-Tragprofil: 40 / 52 / d = 2 mm

**Verankerung:**

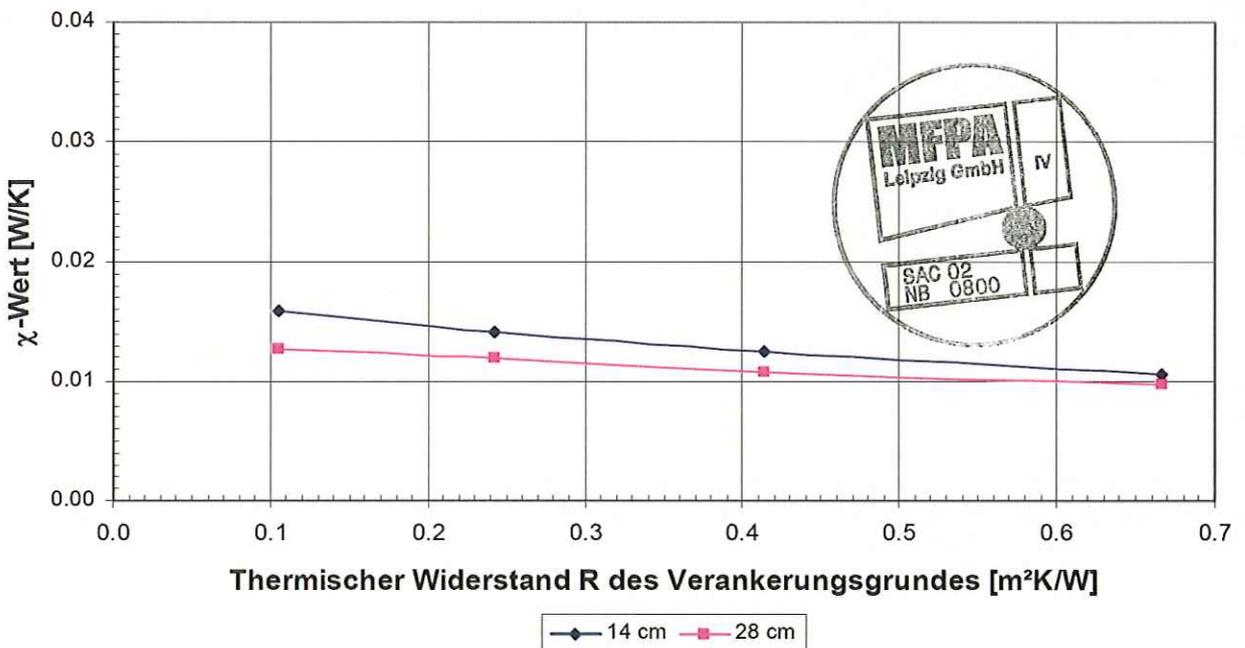
Schraube d = 7 mm verzinkt



**Bemessungsdiagramm**

Wärmebrückenverlust in Abhängigkeit des thermischen Widerstandes R des Verankerungsgrundes und der Dämmstoffstärke

Punktuelle Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\chi$  [W/K]



**Datenblatt: BWM Unterkonstruktion ZeLa mit thermischer Entkopplung (Variante 5)**

Hersteller: BWM Dübel- und Montagetechnik GmbH  
 Adresse: Ernst - Mey - Str. 1 / 70771 Leinfelden-Echterdingen  
 Tel./ Fax: +49 (0)711 90313-0 / +49 (0)711 9031320

**Systembeschreibung der Unterkonstruktion:**

**Werkstoff:**

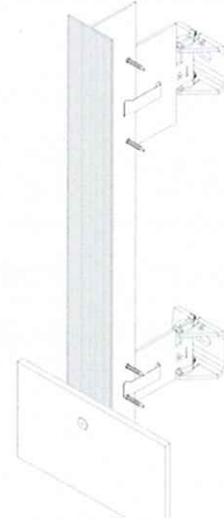
Konsole: **Aluminium**      T-Profil: Aluminium  
 Schwert: **Edelstahl**  
 Kupplung: Polyamid      **Thermostop: PVC**

**Geometrie:**

Konsole: U-Stück 60 / 42 mm / d = 4 mm  
 Schwert: FP 120 / 140 - 220 mm / d = 3 mm  
 T-Tragprofil: 40 / 52 / d = 2 mm

**Verankerung:**

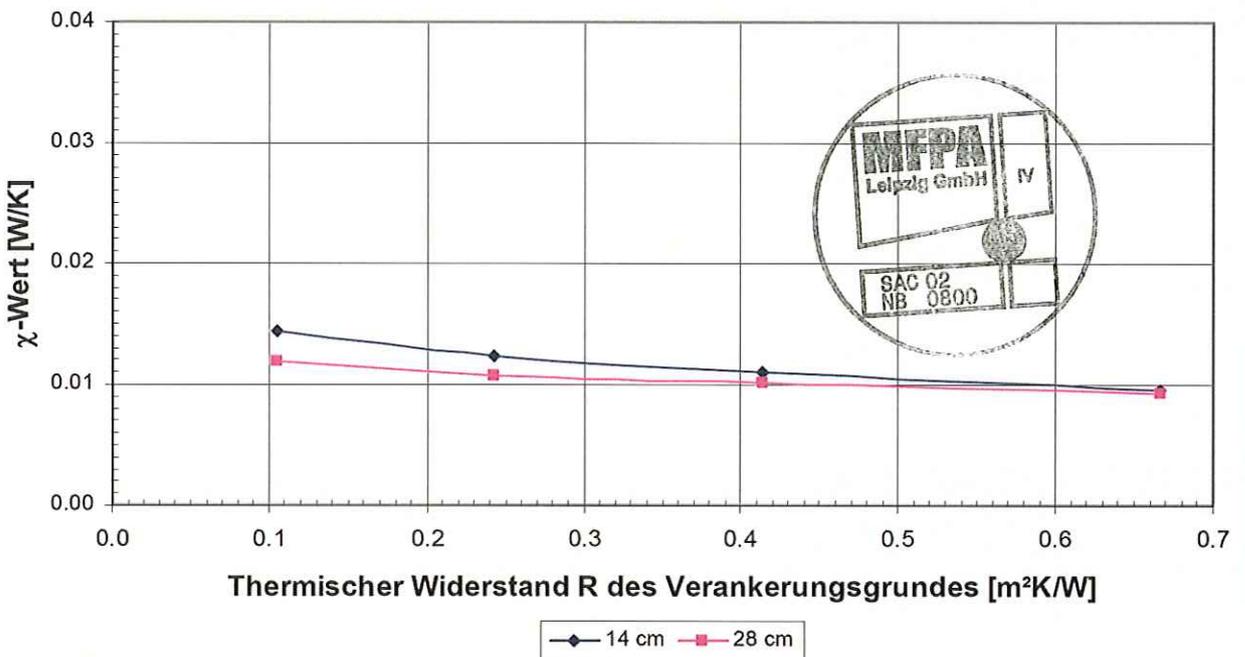
Schraube d = 7 mm verzinkt



**Bemessungsdiagramm**

Wärmebrückenverlust in Abhängigkeit des thermischen Widerstandes R des Verankerungsgrundes und der Dämmstoffstärke

Punktuelle Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\chi$  [W/K]

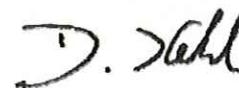


Wärmedurchlasswiderstand des Verankerungsgrundes [m <sup>2</sup> · K/W]	punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient $\chi$ in Abhängigkeit zur Dämmstoffstärke [W/K]	
	14 cm	28 cm
Variante 1: Konsole = Aluminium mit Thermostop; Schwert = Aluminium		
0,104	0,027	0,029
0,242	0,022	0,026
0,414	0,019	0,023
0,667	0,016	0,020
Variante 2: Konsole = Edelstahl; Schwert = Aluminium		
0,104	0,030	0,031
0,242	0,025	0,028
0,414	0,021	0,024
0,667	0,017	0,021
Variante 3: Konsole = Edelstahl mit Thermostop; Schwert = Aluminium		
0,104	0,024	0,025
0,242	0,020	0,023
0,414	0,017	0,021
0,667	0,014	0,019
Variante 4: Konsole = Aluminium; Schwert = Edelstahl		
0,104	0,016	0,013
0,242	0,014	0,012
0,414	0,012	0,011
0,667	0,011	0,010
Variante 5: Konsole = Aluminium mit Thermostop; Schwert = Edelstahl		
0,104	0,014	0,012
0,242	0,012	0,011
0,414	0,011	0,010
0,667	0,010	0,009

Leipzig, den 06.03.2008

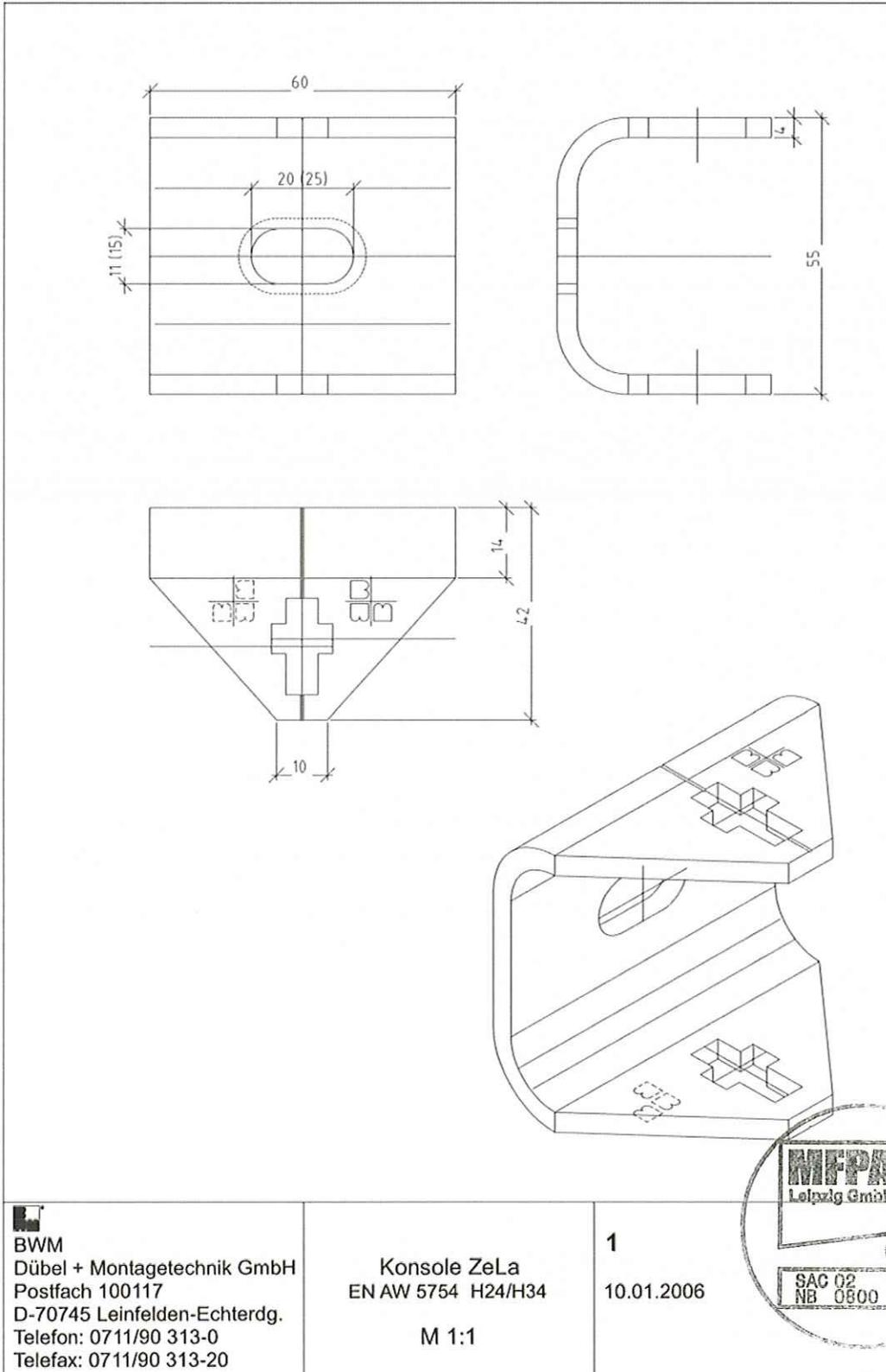


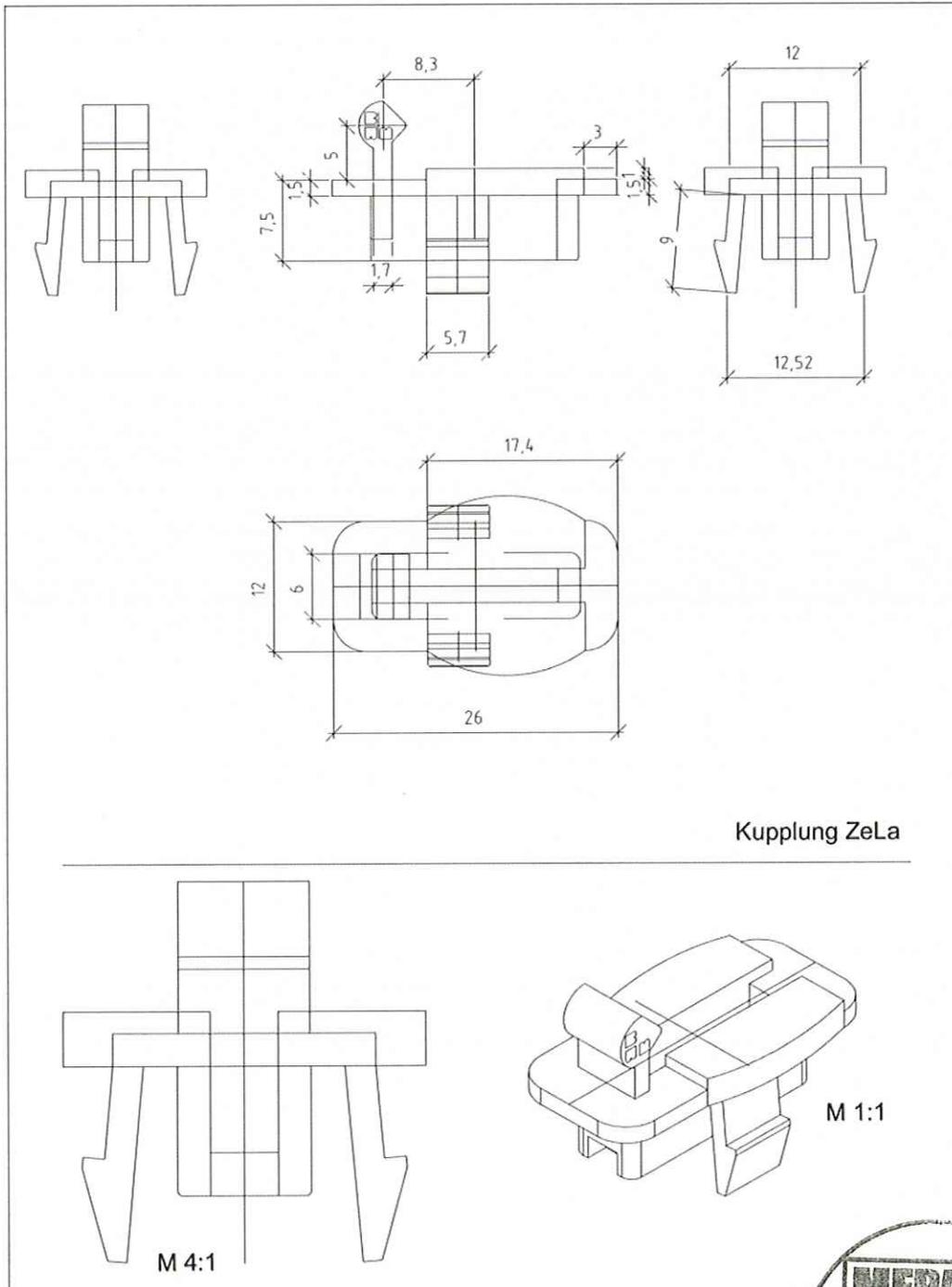
Prof. Dr.-Ing. habil P. Bauer  
kommissarischer Geschäftsbereichsleiter

Dipl.-Ing. D. Kehl  
Bearbeiter (Berner Fachhochschule CH)

## 4 Anhang 1

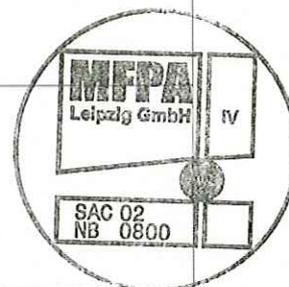


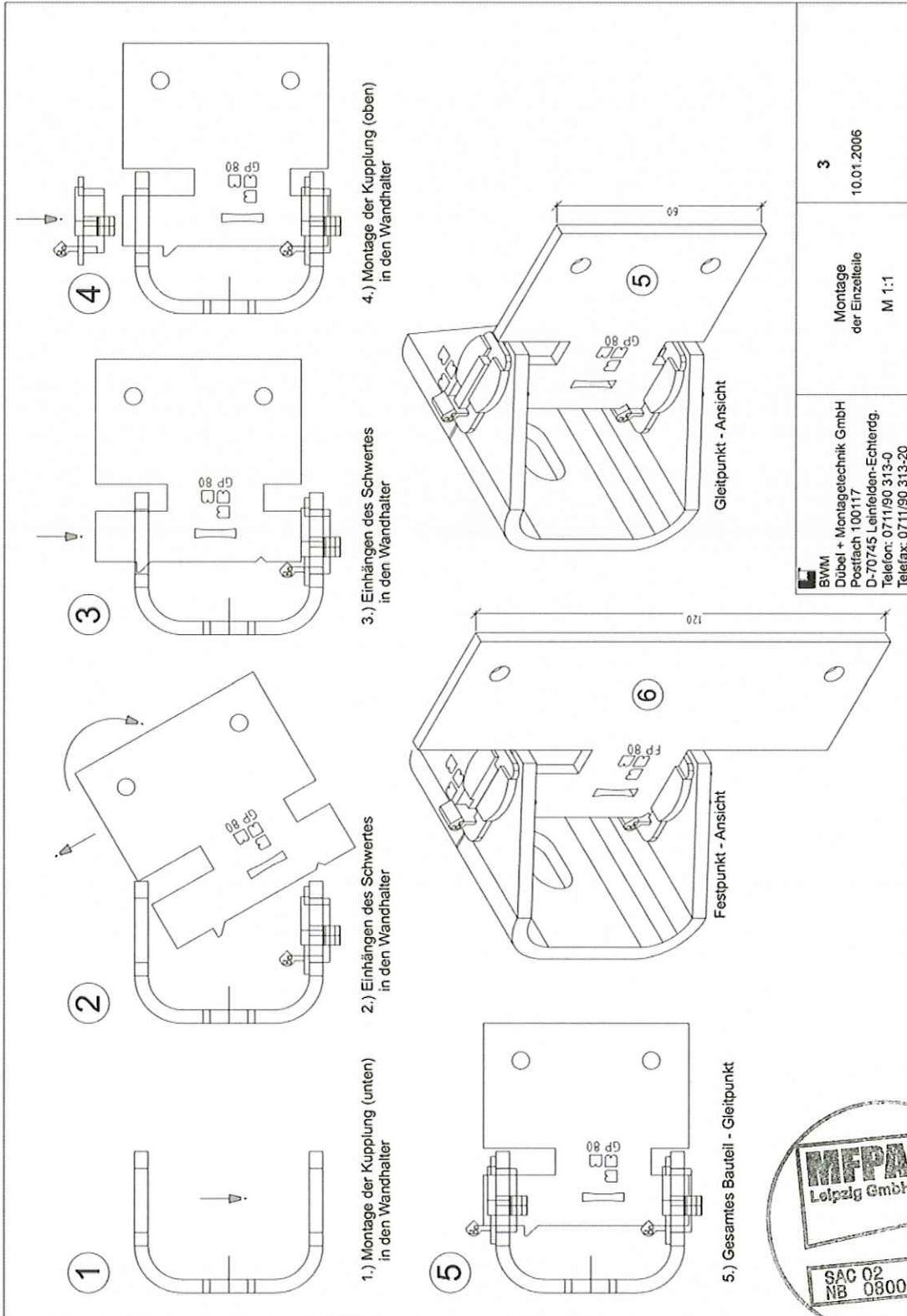


BWM  
Dübel + Montagetechnik GmbH  
Postfach 100117  
D-70745 Leinfelden-Echterdgr.  
Telefon: 0711/90 313-0  
Telefax: 0711/90 313-20

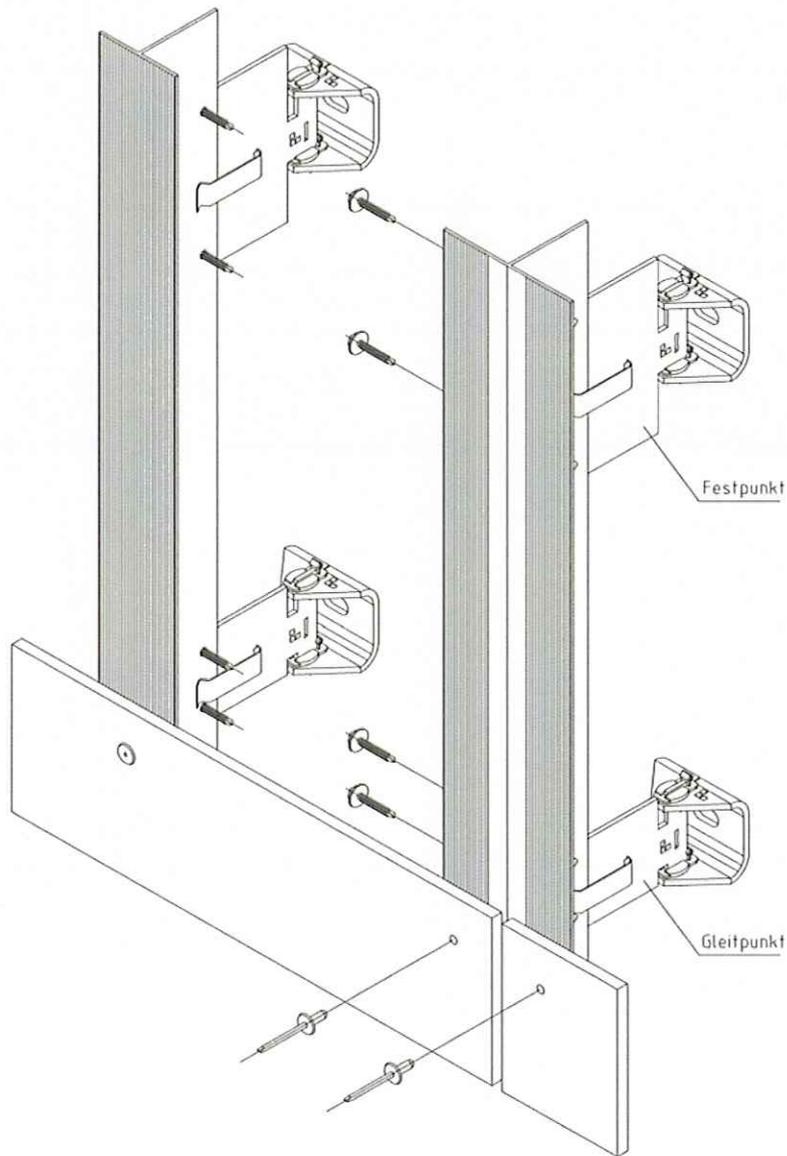
Kupplung ZeLa  
Polyamid B 3 S / B 3 L  
Farbe : RAL 6026 - opalgrün  
M 2:1

2  
10.01.2006





Konstruktionsbeispiel ZeLa  
Sichtbare Befestigung großformatiger Fassadentafeln



BWM  
Dübel + Montagetechnik GmbH  
Postfach 100117  
D-70745 Leinfelden-Echterdgr.  
Telefon: 0711/90 313-0  
Telefax: 0711/90 313-20

Konstruktionsbeispiel  
Konsole ZeLa

4

10.01.2006

