



INSTITUT WOHNEN

UND UMWELT GmbH

Annastraße 15

64285 Darmstadt

Fon: (0049) 06151/2904-0

Fax: (0049) 06151/2904-97

eMail: info@iwu.de

Internet: <http://www.iwu.de>

Wiesbaden – Hallgarter Straße 3-9

Energetische Modernisierung von Geschosswohnungsbauten der Dreißiger Jahre

**Eine Untersuchung im Auftrag der Stadt Wiesbaden
in Kooperation mit der Klimaschutz-Agentur Wiesbaden e.V.**

Darmstadt, den 15.03.2004

**Autoren: Rolf Born
Rainer Feldmann
Tobias Loga**

Wiesbaden – Hallgarter Straße 3-9

Energetische Modernisierung von Geschosswohnungsbauten der Dreißiger Jahre

Angaben zum Objekt

Eigentümer / Bauherr: Wohn-Bau Mainz
Wilhelm-Theodor-Römheld-Str. 8
55130 Mainz

Angaben zur vorliegenden Dokumentation

Autoren: Rolf Born
Rainer Feldmann
Tobias Loga

Darmstadt, den 15.03.2004

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH

Annastraße 15

64285 Darmstadt

Fon: 06151/2904-0 / Fax: -97

Internet: www.iwu.de

Inhalt

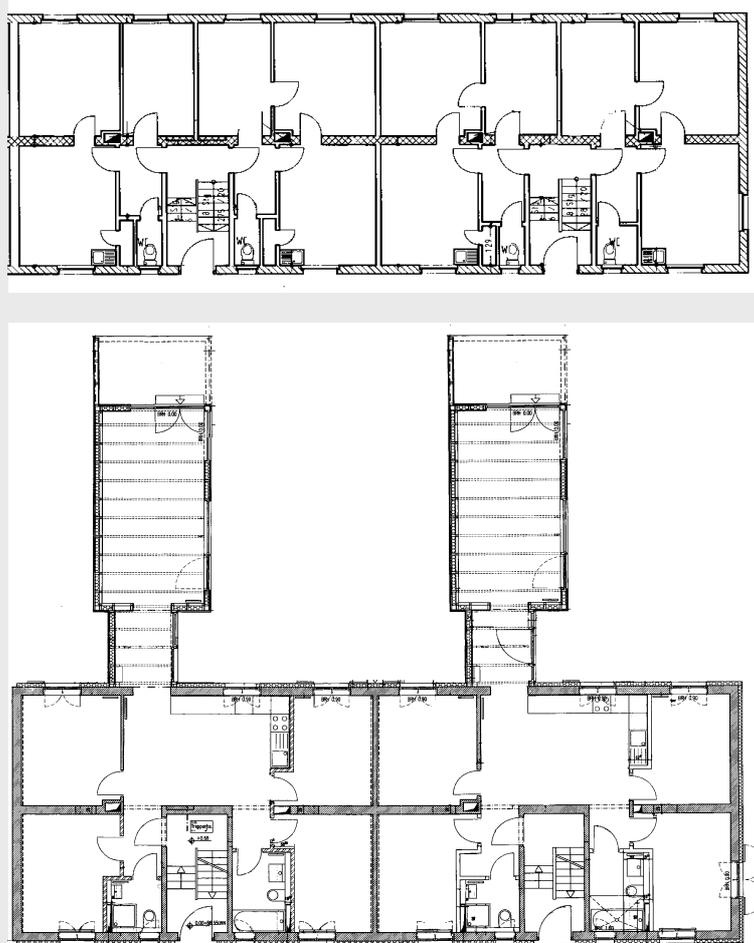
1	Übersicht über die Gebäude	1
2	Energetische Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle	2
2.1	Dämmung der Kellerdecke	4
2.2	Umbau des Dachgeschosses	5
2.3	Dämmung der Außenwände.....	5
2.4	Austausch der Fenster	6
2.5	Treppenhaus im Keller.....	6
2.6	Thermische Qualität des Anbaus in Holzständerbauweise	6
3	Anlagentechnik	7
3.1	Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	7
3.2	Installation einer Zentralheizung mit Gas-Brennwertkessel.....	8
3.3	Einbau einer Solaranlage	9
4	Energiekennwerte und berechnete Energieeinsparung	10
4.1	Wärmeschutz-Varianten	10
4.2	U-Werte	10
4.3	Reduktion der Transmissionswärmeverluste.....	14
4.4	Randbedingungen der Berechnung.....	16
4.5	Ergebnisse: Einsparung von Heizwärme, End- und Primärenergie	16
4.6	Aufteilung der Energieeinsparung auf die Maßnahmen	16
5	Vergleich der Berechnungsergebnisse mit dem gemessenen Verbrauch	17
5.1	Verbrauchsabgleich	18
5.2	Mögliche Ursachen der Differenzen	19
6	Kosten und Wirtschaftlichkeit	20
6.1	Abgerechnete Kosten	20
6.2	Betriebswirtschaftliche Betrachtung	24
7	Zusammenfassung	27
8	Literatur	28

Anhang A: Dokumentation der Energiebilanzberechnungen für die Varianten vor und nach Sanierung 29

2 Energetische Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

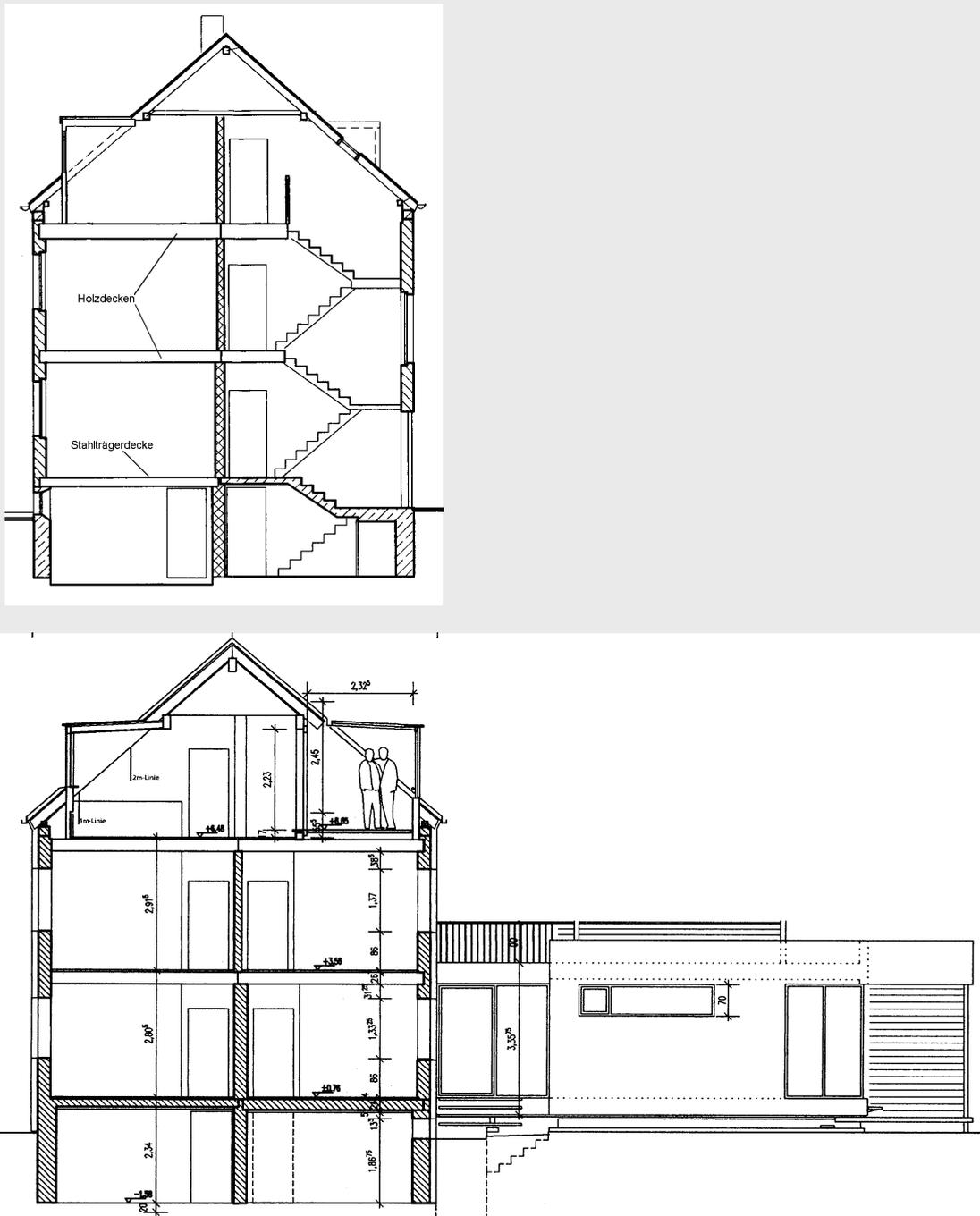
In den Jahren 2001/02 wurden die Gebäude umfassend neu gestaltet und saniert und dabei kinder- und familienfreundlich ausgestattet. Die durchgeführten energetisch relevanten Modernisierungsmaßnahmen sind im Folgenden dokumentiert. Im Rahmen der Umbaumaßnahme wurden auch die Grundrisse vollkommen neu gestaltet.

Bild 3: Grundriss Erdgeschoss der Häuser 7 und 9 vor und nach der Sanierung



Die beiden kleinen Wohnungen je Treppenaufgang und Etage wurden zusammengelegt, so dass eine Wohnung entstand, die heutigen Komfortansprüchen gerecht wird. Bei den Häusern 7 und 9 wurden zudem im Erdgeschoss noch Wohnzimmer in Holzständerbauweise in die Gärten hinein gebaut. Eine von diesen erweiterten Wohnungen ist zudem mit einem rollstuhlgerechten Bad und einem barrierefreien Zugang ausgestattet worden.

Bild 4: Schnitt durch das Haus Nr. 7 vor und nach der Sanierung



Bei der Bilanzierung wird der gesamte Bauriegel betrachtet.

- Im Altbauzustand die Häuser 3 bis 9 einschließlich der im Dachgeschoss ausgebauten Zimmer.
- Im sanierten Zustand ebenfalls der gesamte Riegel zuzüglich der jetzt vollständig ausgebauten Dachgeschosse und der angebauten Wohnzimmer.

Da sich die beheizte Wohnfläche (= Energiebezugsfläche) durch den Umbau erheblich vergrößert hat, von 754 auf 862 m², kann die Energieeinsparung nicht direkt bestimmt werden, sondern nur über den Vergleich der Kennwerte bezogen auf die Wohnfläche.

Bild 5: Wohnzimmer in Holzständerbauweise „Satellitenanbau“ Einzelteile in der Zimmerei vorgefertigt



Von der Wohnungsbaugesellschaft werden insgesamt 959 m² abgerechnet. Die Differenz erklärt sich daraus, dass die abgerechnete Fläche auch Nebenflächen enthält und unbeheizte Flächen (Terrassen und Balkone) zur Hälfte mit angerechnet werden.

Im Folgenden werden die durchgeführten Maßnahmen beschrieben:

2.1 Dämmung der Kellerdecke

Die Kellerdecken wurden mit 50 mm starken Heratekta-Platten (Wärmeleitgruppe 040) gedämmt (Bild 6). Diese wurden von unten an die Kellerdecke gedübelt. Da die Platten von beiden Seiten mit einer dünnen Holzwoleleichtbauplatte beschichtet sind, waren keine weiteren Arbeiten zur Verkleidung notwendig. Zusätzlich wurde beim Verlegen der neuen Fußbodenbeläge im Erdgeschoss eine Perlite-Ausgleichsschüttung mit einer Schichtdicke zwischen 25 und 50 mm eingebracht.

Bild 6: Dämmung der Kellerdecke



2.2 Umbau des Dachgeschosses

Der alte Dachstuhl wurde einschließlich der nicht tragenden Innenwände abgetragen und neu aufgebaut.

Bild 7: Erneuerung des Dachgeschosses



Die oberste Geschossdecke ist nach dem vollständigen Dachgeschossausbau nicht mehr Teil der thermischen Gebäudehülle. Eine Ausnahme bilden die beiden Dachterrassen die bei den Dachwohnungen in Haus 7 und 9 entstanden sind. Deren Boden wurde 10 cm stark mit Polystyrol gedämmt. Die Dachschrägen sind mit 22 cm Sparren neu aufgerichtet worden. Der Zwischenraum ist vollständig mit Zelluloseflocken ausgeblasen. Zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung der Sparren ist außenseitig eine bituminierte Holzweichfaserplatte angebracht. Die Dächer der Gauben sind gleichartig aufgebaut, jedoch sind hier die Sparren nur 12 cm stark. Die Seitenwände der Gauben wurden verglast, so dass die Räume im Dachgeschoss deutlich heller geworden sind. Zudem wurden auf der Gartenseite Gauben vergrößert bzw. zusammengelegt und dadurch mehr nutzbarer Raum gewonnen.

Bild 8: Dachterrassen



Gauben mit seitlicher Festverglasung



2.3 Dämmung der Außenwände

Die Außenwände wurden mit Holzweichfaserplatten der Wärmeleitgruppe 040 10 cm stark gedämmt. Diese Platten wurden als Wärmedämmverbundsystem direkt verputzt.

Bild 9: Dämmung der Außenwand**Die fertige Fassade**

2.4 Austausch der Fenster

Die neuen Holzfenster mit Wärmeschutzglas (U-Wert der Verglasung $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) wurden bündig mit der Außenkante des Mauerwerks eingebaut und der Rahmen einige Zentimeter überdämmt.

2.5 Treppenhauses im Keller

Nach dem Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems liegen die Treppenhäuser zwar innerhalb der thermischen Hülle, auf die Dämmung der Wände im Kellerabgang ist jedoch verzichtet worden.

2.6 Thermische Qualität des Anbaus in Holzständerbauweise

Die Satellitenanbauten sind vollständig (Wand Dach und Boden) in Holzständerbauweise mit einer in die Gefache eingeblasenen Dämmung aus Zelluloseflocken ausgeführt. Eine raumseitig verlegte und an den Stößen verklebte Baupappe bildet die luftdichte Ebene. Die U-Werte sind in Tab. 1 dokumentiert.

Bild 10: Aufstellen des Anbaues**Ansicht aus Süd-Ost**

3 Anlagentechnik

3.1 Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

In dem Gebäude wurde eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert. Durch integrierte Warmwasser-Nachheizregister wird die Zuluft auf 20°C erwärmt. Die acht Lüftungsgeräte sind im Keller montiert und jeweils einem Steigstrang für Zu- und Abluft zugeordnet. Die vertikale Verteilung der Zuluft erfolgt dabei in den nicht mehr benötigten Kaminen, die Abluftstränge sind in der Vorwandinstallation der Nassräume verlegt.

Bild 11: Vorwandinstallation mit Abluftleitungen;



Alter Kamin mit Luftauslass im DG



Jeweils zwei Lüftungsgeräte versorgen drei Wohnungen. Die Geräte mit einer Leistung von 200 bzw. 250 m³/h sind vom Hersteller für die Aufstellung in einer Wohnung konzipiert. Sie sind nur minimal gedämmt und werden mit Rohren der Nennweite 100 mm angeschlossen. Dass die Geräte bei diesem Projekt nicht in den Wohnräumen montiert wurden, liegt an den relativ geringen Raumhöhen und den beengten Grundrissen im Bereich der Flure. Durch die Aufstellung im Keller ist allerdings eine umfangreiche Leitungsführung nötig. Diese bedingt bei der Verlegung im Keller Wärmeverluste und generell einen Druckverlust, der durch einen Mehreinsatz an Ventilatorleistung kompensiert werden muss. Dazu kommt, dass die Geräte der Fa. Helios mit normalen Wechselstromventilatoren ausgestattet sind, die je Lüftungsgerät bei einem Nennvolumenstrom von 250/150/80 m³/h eine elektrische Leistung von 200/80/44 W aufnehmen. Der spezifische Stromverbrauch liegt dabei mit 0,53 Wh/m³ über dem in verschiedenen Planungshilfen empfohlenen Grenzwert von 0,4 Wh/m³. Der Zielwert für Lüftungsanlagen in Passivhäusern liegt sogar nur bei 0,25 Wh/m³. Aus dem relativ hohen Leistungsbedarf resultiert ein Jährlicher Hilfsstromverbrauch von fast 6000 kWh (entsprechend 500 kWh je Wohneinheit) unter der Annahme, dass die Geräte ganzjährig mit Zu- und Abluftventilator im Mittel auf Stufe zwei betrieben werden.

Bild 12: Die Wärmerückgewinnungsgeräte; Außenluftansaugung durch ein Kellerfenster

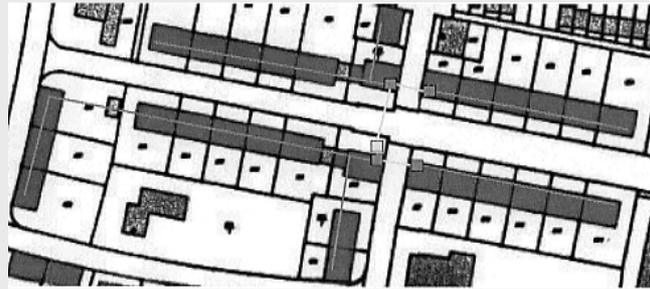
Zudem sind die Geräte nur mit einem Kreuzstromwärmetauscher ausgestattet und dürften deshalb im Mittel über die Heizzeit nur einen Temperaturbereitstellungsgrad von 60% haben; auch wenn der Hersteller in seinen Unterlagen von „bis über 90%“ spricht. Bei der Aufstellung im Keller wären wahrscheinlich weniger und größere Geräte mit besserem Temperaturbereitstellungsgrad und spezifisch geringerer Leistungsaufnahme die energetisch günstigere Variante gewesen. Die Frostfeihaltung der Plattenwärmetauscher wird bei diesen Geräten über ein zeitweiliges Abschalten der Zuluftventilatoren gewährleistet, welches den Temperaturbereitstellungsgrad zusätzlich vermindert. Ein weiterer Schwachpunkt der Anlage ist, dass die beiden Satellitenanbauten nicht angeschlossen wurden, ein gezielter Luftaustausch ist dort nur über die Fenster möglich. Ein weiterer Grund für einen zu hohen Luftwechselrate über die Fenster kann auch in der starken Vorwärmung der Zuluft liegen. Wird beispielsweise von einigen Bewohnern eine Schlafzimmertemperatur von 20 °C als zu warm empfunden, bleibt bei ausgeschaltetem Heizkörper und vorgewärmtem Zuluftstrom nur der Weg das Fenster zu öffnen, wodurch sich die Lüftungsverluste drastisch erhöhen.

3.2 Installation einer Zentralheizung mit Gas-Brennwertkessel

An Stelle der bisher verwendeten Einzelöfen wurde für das gesamte Gebäude eine Zentralheizung mit einem wandhängenden Gasbrennwertkessel mit 60 kW Leistung eingebaut. Ferner sind Anschlüsse zu dem in der Siedlung geplanten Nahwärmenetz zwischen dem Haustechnik Keller und der künftigen Wärmetrasse bereits verlegt worden. Die Versorgung mit dem Brennwertgerät stellt also nur eine Übergangslösung dar. Die horizontale Verteilung ist unter der Kellerdecke verlegt. Die Steigstränge liegen in der Vorwandinstallation der Nassräume oder in Schächten. Außerdem übernimmt der Brennwertkessel die Vorwärmung der Zuluft (s. Abschnitt 3.1) und die Erwärmung des Trinkwarmwassers (s. u.). Die Anpassung der Vorlauftemperatur der Heizkörper erfolgt während der Aufheizung des WW-Speichers außentemperaturgesteuert über einen Mischer, sonst wird mit gleitender Kesseltemperatur gefahren. Die Heizkreise sind auf eine Maximaltemperatur von

70/55° C ausgelegt. Die Heizregister der Lüftungsgeräte werden bei Außentemperaturen unter 2° C zugeschaltet. Nach Auskunft des Haustechnikers ist der Massenstrom dabei so eingestellt, dass Zulufttemperatur über 20° C nicht auftreten können. Eine Regelung der Zulufttemperatur findet jedoch nicht statt.

Bild 13: Wandhängender Brennwertkessel; Strangschema des geplanten Nahwärmenetzes



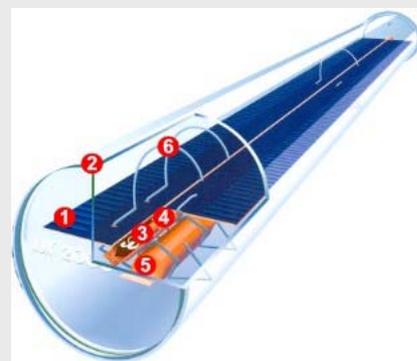
3.3 Einbau einer Solaranlage

Über den Terrassen der beiden Satellitenanbauten wurden Vakuumröhrenkollektoren mit je 4,4 m² Aperturfläche installiert. Dieser architektonisch ansprechende Aufstellort hat allerdings den Nachteil, dass zwei Anbindestränge verlegt werden mussten, was den solaren Ertrag geringfügig mindert. Der bivalente Warmwasserspeicher mit 600 Litern Inhalt ist im Kellerraum neben dem Heizraum aufgestellt. Eine Abschätzung des solaren Ertrags mit einem Monatsbilanzverfahren ergab einen zu erwartenden Deckungsanteil von 39% für die Trinkwarmwasserbereitung bei einem durchschnittlichen Warmwasserbedarf. Der mit WW-Zählern gemessene tatsächliche Verbrauch in diesem Projekt liegt jedoch deutlich über dem Standardwert von 17 kWh/(m²a) für die Nutzenergie Warmwasser. Einzelheiten dazu im Abschnitt 5.

Bild 14: Kollektor über der Terrasse von oben



Schnittbild einer Vakuumröhre



4 Energiekennwerte und berechnete Energieeinsparung

4.1 Wärmeschutz-Varianten

Im Folgenden werden die Energiebilanzen vor und nach der Sanierung miteinander verglichen, wobei allerdings immer bedacht werden muss, dass sich die Energiebezugsfläche verändert hat (s. Abschnitt 2)

4.2 U-Werte

Für den Zustand vor und nach der Modernisierung wurden jeweils die U-Werte ermittelt. Tab. 1 zeigt die Schichtfolge und die Berechnung der U-Werte für die Regelquerschnitte jeweils vor und nach der Sanierungsmaßnahme.

Tab. 1 gibt einen Überblick über die Flächen und U-Werte. Die Berechnungen für den Urzustand sind dabei einfarbig grau und die für den Istzustand schraffiert hinterlegt.

Tab. 1: Berechnung der U-Werte

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung	Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="0,13"/>			Dicke d in mm	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)		
			Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1	w1eg	Hohlblocksteine 26 cm ungedämmt				10	0,872		
2		Hohlblocksteine 50 (DIN 18151)				260	0,465		
3		Außenputz				10	0,750		
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
			Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} : <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value=""/>			Flächenanteile: <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="100%"/>			
			Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="0,04"/>			U-Wert: <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="1,326"/>			W/(m ² K)

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung	Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="0,13"/>			Dicke d in mm	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)		
			Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1	w1eg	Hohlblocksteine EG und OG 26 cm gedämmt mit 10 cm Gutexplatten				10	0,872		
2		Hohlblocksteine 50 (DIN 18151)				260	0,465		
3		Außenputz				10	0,750		
4		Holzweichfaser				100	0,040		
5		Außenputz neu				10	0,750		
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									
			Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} : <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value=""/>			Flächenanteile: <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="100%"/>			
			Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="0,04"/>			U-Wert: <input style="background-color: #cccccc;" type="text" value="0,306"/>			W/(m ² K)

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 1: Berechnung der U-Werte: (Fortsetzung)

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung					
2	w2eg	Ziegelmauer Kellerabgang					
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2K/W							
Dicke d in mm							
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$							
	Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1.	Kalkzementmörtel			10	0,870		
2.	Vollziegel 2000 kg/m ³			260	0,960		
3.	Kalkzementmörtel			10	0,870		
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{ui} :			Flächenanteile:		100%		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W			U-Wert:		2,156 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Die Kellerabgänge wurden nicht gedämmt

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung					
3	w3dg	Wand Treppe gegen Dachboden					
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2K/W							
Dicke d in mm							
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$							
	Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1.	Kalkzementmörtel			10	0,870		
2.	Hohlblocksteine			240	0,465		
3.	Kalkzementmörtel			10	0,870		
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{ui} :			Flächenanteile:		100%		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W			U-Wert:		1,410 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Die Wände im DG sind nach dem vollständigen Ausbau des Daches nicht mehr Teil der thermischen Hülle.

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung					
4	w4da	Holzschalung gegen außen (Gaubenwände)					
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2K/W							
Dicke d in mm							
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$							
	Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*		Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1.	Gipsmörtel auf Rohmatte			25	0,465		
2.	Holzschalung			10	0,140		
3.	Luftschicht	Lattung		20	0,136	0,140	
4.	Holzschalung			10	0,140		
5.	Dachpappe			3	0,190		
6.	Wetterschutz						
7.							
8.							
9.							
10.							
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{ui} :			Flächenanteile:		90% 10%		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W			U-Wert:		1,890 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Die Seitenwände der Gauben sind verglast worden und werden im sanierten Zustand demnach als Fenster gerechnet.

Tab. 1: Berechnung der U-Werte: (Fortsetzung)

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
5	d2gau	Gaubendächer
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,1 m ² /K		
	Bereich 1	Bereich 2* Bereich 3*
1.	Gipsmörtel auf Rohmatte	
2.	Holzschalung	
3.	Luftschicht	Lattung
4.	Holzschalung	
5.	Dachpappe	
6.	Wetterschutz	
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} : m ² /K		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m ² /K		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)		
Flächenanteile: 90% 10%		
U-Wert: 2,065 W/(m ² K)		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
9		Dächer der Gauben
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,1 m ² /K		
	Bereich 1	Bereich 2* Bereich 3*
1.	Gipsplatte	
2.	Zellulosedämmstoff	Sparren
3.	bitum. Holzweichfaserplatte	
4.	Dacheindeckung	
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} : m ² /K		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m ² /K		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)		
Flächenanteile: 90% 10%		
U-Wert: 0,322 W/(m ² K)		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
6	d1beh	Dachschräge in der Mansarde (alt)
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,1 m ² /K		
	Bereich 1	Bereich 2* Bereich 3*
1.	Gipsmörtel auf Rohmatte	
2.	Holzschalung	
3.	belüftete Luftschicht s. u.	
4.	Dacheindeckung	
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} : 0,1 m ² /K		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m ² /K		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)		
Flächenanteile: 100%		
U-Wert: 2,738 W/(m ² K)		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 1: Berechnung der U-Werte: (Fortsetzung)

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
6	d1beh	Dachschräge in der Dachgeschosswohnung (neu)
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,1 m^2K/W		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsplatte		
2. Zellulosedämmstoff	Sparren	
3. bitum. Holzweichfaserplatte		
4. Dacheindeckung		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u_i} : 0,3 m^2K/W		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W		
Flächenanteile: 90% 10% 0%		
U-Wert: 0,194 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
9	og1	Oberste Geschossdecke im Urzustand
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,1 m^2K/W		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Holzdielen		
2. Lehmschlag	Holzbalken	
3. Holzzwischenboden	Holzbalken	
4. Luftraum	Holzbalken	
5. Luftraum	Luftraum	Konterlatte
6. Putzträgerplatten		
7. Kalkputz		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u_i} : 0,3 m^2K/W		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W		
Flächenanteile: 82% 17% 1%		
U-Wert: 0,690 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Die oberste Geschossdecke ist nicht mehr Teil der thermischen Hülle.

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
3	W_AnB	Wand Satellitenanbau
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,13 m^2K/W		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsbauplatte		
2. Dämmstoff	Holzständer	
3. Holzfaserplatte		
4. Wetterschutz		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u_i} : 0,3 m^2K/W		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W		
Flächenanteile: 90% 10% 0%		
U-Wert: 0,298 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 1: Berechnung der U-Werte: (Fortsetzung)

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
5	FB_AnB	Fußboden Anbau
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,17 m^2K/W		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Trockenestrichplatte		
2. Trittschalldämmung		
3. Dämmstoff	Holzständer	
4. Holzfaserplatte		
5. Wetterschutz		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} : m^2K/W		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W		
Flächenanteile: 100%		
U-Wert: 0,215 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Lfd.Nr.	Bauteil Kürzel	Bauteil-Bezeichnung
4	D_AnB	Dach Anbau
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} : 0,1 m^2K/W		
Dicke d in mm		
Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(mK)$		
Bereich 1	Bereich 2*	Bereich 3*
1. Gipsbauplatte		
2. Dämmstoff	Holzständer	
3. Holzfaserplatte		
4. Wetterschutz		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume (z.B. Dachraum) R_{u} : m^2K/W		
Wärmeübergangswiderstand außen R_{sa} : 0,04 m^2K/W		
Flächenanteile: 100%		
U-Wert: 0,259 $W/(m^2K)$		

*) λ für Bereich 2 oder 3 nur eintragen, wenn abweichend von Bereich 1

Tab. 2: Zusammenfassung der Bauteilflächen und zugehörige Wärmedurchgangskoeffizienten vor und nach der Sanierung

Bezeichnung (freier Eintrag)	Red.-faktor	Ges.-fläche		Bezeichnung (freier Eintrag)	faktor	Gesamtfläche	
		[m ²]	Vor Modernisierung [W/(m ² K)]			[m ²]	Nach der Sanierung [W/(m ² K)]
Kellerdecke	0,6	378,1915	2,075	Kellerdecke	0,6	378,2	0,470
OG-Decke	1,0	192,2	0,690	Außenwand	1,0	591,4	0,306
Außenwand	1,0	579,2	1,326	Fenster	1,0	221,9	1,700
Fenster	1,0	114,8	4,850	Eingangstür	1,0	10,4	2,500
Eingangstür	1,0	10,4	2,500	Wand Treppe geg Keller	1,0	37,1	0,576
Wand Treppe geg Keller	0,6	37,1	2,156	Gaubendächer	0,6	97,2	0,322
Wand Treppe geg Dachraum	1,0	18,5	1,410	Dachschräge über beh. Räumen	1,0	468,7	0,194
Holzschalung gegen außen (Dach+Gauben)	1,0	74,9	1,890	Boden Anbau	0,9	66,4	0,215
Gaubendächer	1,0	26,9	2,065	Wand Anbau	1,0	113,9	0,298
Dachschräge über beh. Räumen	0,6	160,2	2,738	Fenster Anbau	1,0	37,1	1,450
				Dach Anbau	1,0	66,4	0,215
				Boden Dachterrasse	1,0	12,1	0,282

4.3 Reduktion der Transmissionswärmeverluste

Vor der Modernisierung (siehe Bild 15) liegen die Transmissionswärmeverluste eines Bauriegels (16 kleine Wohneinheiten und 5 kleinste Dachwohnungen) bei 242 kWh/(m²a). Den größten Anteil haben die Verluste über die Außenwände (75 kWh/(m²a)), die Fenster (54 kWh/(m²a)) und die Kellerdecke (45 kWh/(m²a)). Die Verluste im Dach verteilen sich auf die OG-Decke, Wände gegen unbeheizte Räume, Gaubenwände und Gaubendächer sowie die Dachschrägen über den beheizten

Zimmern (in der Summe 60 kWh/(m²a)). Der Einfluss der Wärmebrücken wurde bei diesem Projekt nicht detailliert untersucht.

Durch die Sanierung vermindern sich die Transmissionswärmeverluste drastisch. Das Bild 16 zeigt die veränderte Situation. An der Stelle muss aber noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die Bezugsgröße „Wohnfläche“ sich ebenfalls verändert hat, und deshalb ein direkter Vergleich anhand der spezifischen Werte nicht möglich ist. Nur der Vergleich der absoluten Werte für das einzelne Bauteil aus Tab. 4 zeigt die exakte Einsparung durch die Maßnahmen.

Bild 15: Aufteilung der Transmissionswärmeverluste vor Modernisierung

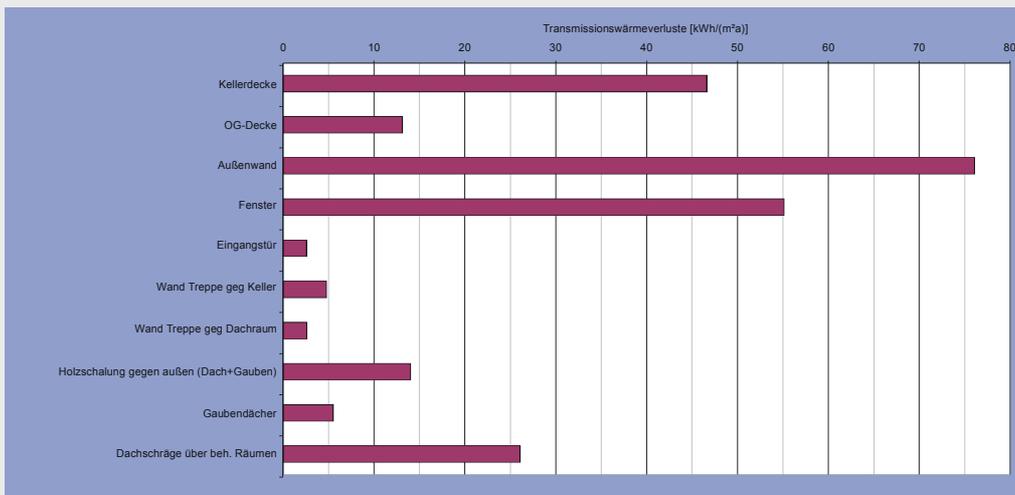
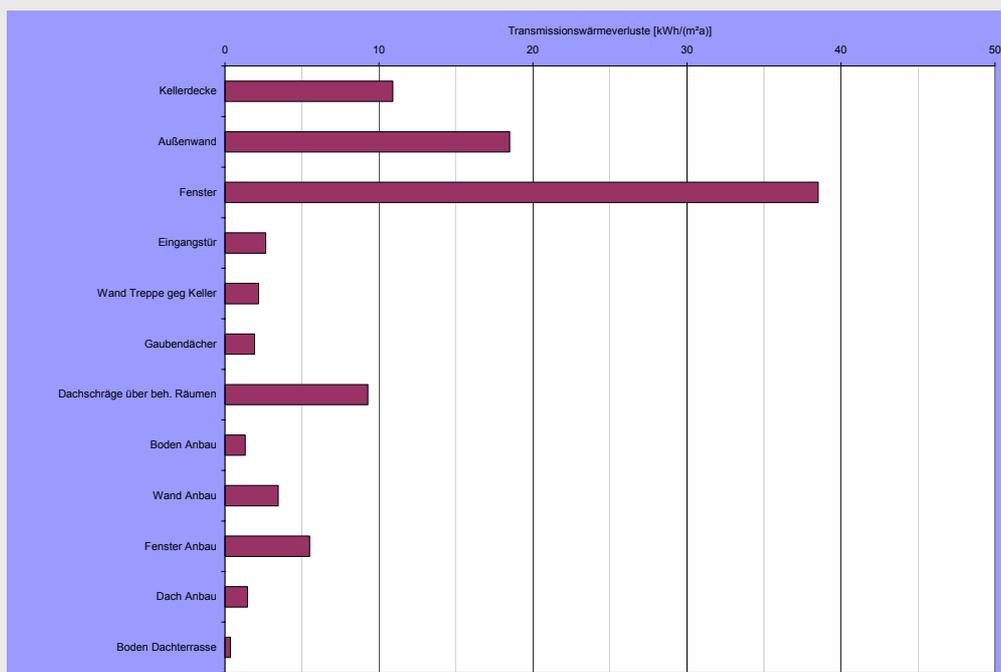


Bild 16: Aufteilung der Transmissionsverluste nach der Modernisierung



4.4 Randbedingungen der Berechnung

Die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Warmwasser erfolgt möglichst nahe an der Realität, um einen Abgleich mit den ermittelten Verbrauchswerten zu ermöglichen. Die Randbedingungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV) sind hierfür besonders für den unsanierten Fall ungeeignet.

Als Randbedingungen werden die Nutzungsbedingungen nach [EPHW 1997] und [Toolbox 2001] verwendet. Darin wird von einer Tag-Raumsolltemperatur von 21°C sowie der Durchführung einer Nachtabsenkung ausgegangen. Die mittlere Raumtemperatur liegt bei typischer Nutzung vor der Modernisierung bei 18,4 °C und steigt nach der Sanierung auf 20,3 °C (siehe Kopfblock in den Energiebilanzen in Abschnitt 0).

Die Klimadaten entsprechen dem langjährigen Mittel der Klimaregion 9 nach DIN V 4108-6 (Standort Geisenheim) für eine Heizgrenztemperatur von 15 °C. Die tatsächliche Heizgrenztemperatur liegt vor der Modernisierung bei 18,6 °C, nach der Komplettmodernisierung bei 14,1 °C.

4.5 Ergebnisse: Einsparung von Heizwärme, End- und Primärenergie

Tab. 3 gibt einen Überblick über den Energiebedarf der Varianten und die Einsparung gegenüber dem Zustand vor der Modernisierung. Bei der Variante drei, der zukünftig geplanten Versorgung über ein Nahwärmenetz, sind folgende Annahmen getroffen worden:

Brennstoff: Erdgas

Primärenergieaufwandszahl Nahwärme: 0,7 nach DIN 4701-10 für KWK-Anlagen

Verteilverluste im Netz: 10%

Nutzungsgrad Übergabestation Winter: 95%

Nutzungsgrad Übergabestation Sommer: 90%

Tab. 3: Überblick über den Energiebedarf und die Energieeinsparung (wohnflächenspezifisch)

Variante		1	2	3
		Vor Modernisierung	nach der Sanierung	nach Anschluß an Nahwärme
Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	250,5	104,8	104,8
<i>Reduktion im Vergleich zur Var. 1</i>			58%	58%
Endenergiebedarf (Erdgas)	kWh/(m²a)	334,3	151,5	102,1
<i>Reduktion im Vergleich zur Var. 1</i>			55%	69%
Primärenergiebedarf	kWh/(m²a)	557,8	181,0	132,4
<i>Reduktion im Vergleich zur Var. 1</i>			68%	76%

4.6 Aufteilung der Energieeinsparung auf die Maßnahmen

Für diese Berechnung werden die neu erstellten Satellitenanbauten nicht mit betrachtet, um einen direkten Vergleich mit dem Urzustand zu ermöglichen. Da sich die Lage der thermischen Hülle im

Dachgeschoss durch den vollständigen Ausbau geändert hat, ist für diesen Bereich ein direkt bauteilbezogener Vergleich nicht möglich. Unter der Rubrik „therm. Hülle oben“ werden deshalb die Verluste vom Dachschräge, OG-Decke, Wänden gegen unbeheizten Dachraum, Dachterrassen und Gauben zusammengefasst. Die durch die Maßnahmen erzielte Einsparung von Nutzenergie zeigt Tab. 4.

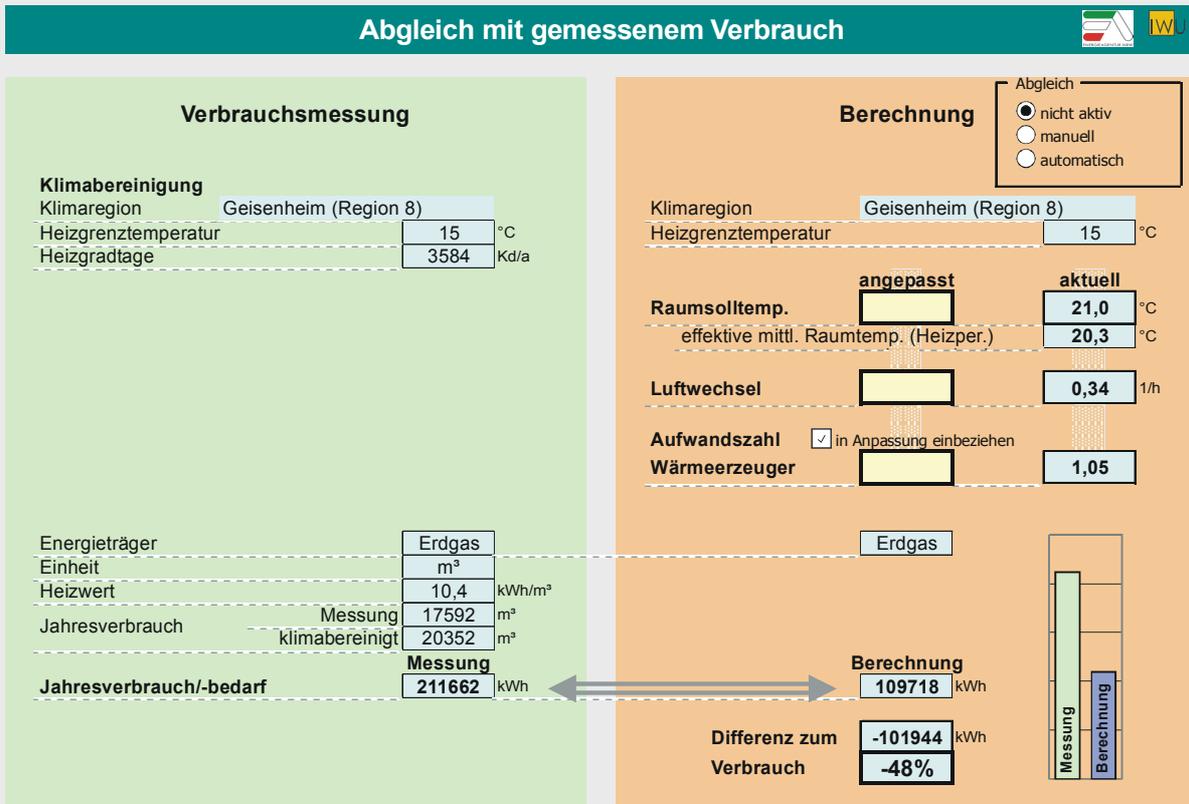
Tab. 4: Reduktion der Transmissionswärmeverluste nach Maßnahmen und Zuordnung der berechneten Endenergieeinsparung (wegen Wohnflächenvergrößerung absolute Werte)

		Transmissionsverluste des Hauptgebäudes			
		vor der Sanierung (kWh/a)	nach der Sanierung (kWh/a)	Differenz	relativ
Bauteil					
	Kellerdecke	35.148	9.114	26.034	24%
	Außenwand	56.038	15.241	40.798	38%
	Fenster (EG+OG)	35.495	14.663	20.831	19%
	therm. Hülle oben	51.477	31.824	19.653	18%
Summe		178.158	70.842	107.316	100%

5 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit dem gemessenen Verbrauch

Alle bis hierher genannten Zahlen fußen auf Berechnungen mit „Standard-Nutzungsbedingungen“ und der Annahme, dass weder bei der Planung, beim Betrieb der Haustechnik noch bei der Bauausführung gravierenden Fehler gemacht wurden bzw. werden. Die vorliegenden Verbrauchsdaten aus dem ersten bewohnten Jahr weichen jedoch erheblich von den berechneten Kennwerten ab. Der Gesamtverbrauch des Gebäudes liegt bei 17592 m³ Erdgas und damit klimabereinigt fast doppelt so hoch wie erwartet. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass im ersten Jahr nach dem Bezug von Neubauten oder grundsanierten Altbauten ein Mehrverbrauch von ca. 10% wegen der zur Austrocknung der Baufeuchte zusätzlich nötigen Wärme durchaus normal ist. Die von dem Abrechnungsunternehmen Techem gelieferten Daten weisen zudem auf einen ungewöhnlich hohen Warmwasserverbrauch hin. Der Warmwasserverbrauch wird durch Zähler in den Wohnungen gemessen. Von Techem wird der Warmwasser-Anteil am Gesamtverbrauch mit 35,35% angegeben. Dabei ist allerdings nicht klar ob und in welcher Höhe in die Prozentangabe des Abrechnungsunternehmens schon Verteilverluste und die Erträge der Solaranlage eingerechnet wurden. Gemäß den vorliegenden Daten liegt der Nutzenergiebedarf Warmwasser etwa in einer Größenordnung von 70 kW/(m²a) und damit um den **Faktor 4 über dem Standardwert von 17 kW/(m²a)**! Durch diesen ungewöhnlich hohen Verbrauch sinkt der solare Deckungsanteil für die Warmwasserbereitung von den oben berechneten 39% auf unter 10%! Ein Warmwasserverbrauch in dieser Höhe lässt die Vermutung zu, dass von den Bewohnern auch bei den gewählten Raumtemperaturen und den Fensteröffnungszeiten nicht auf sparsames Verhalten geachtet wird.

Tab. 5: Gegenüberstellung von Verbrauchsmessung und Bedarfsrechnung

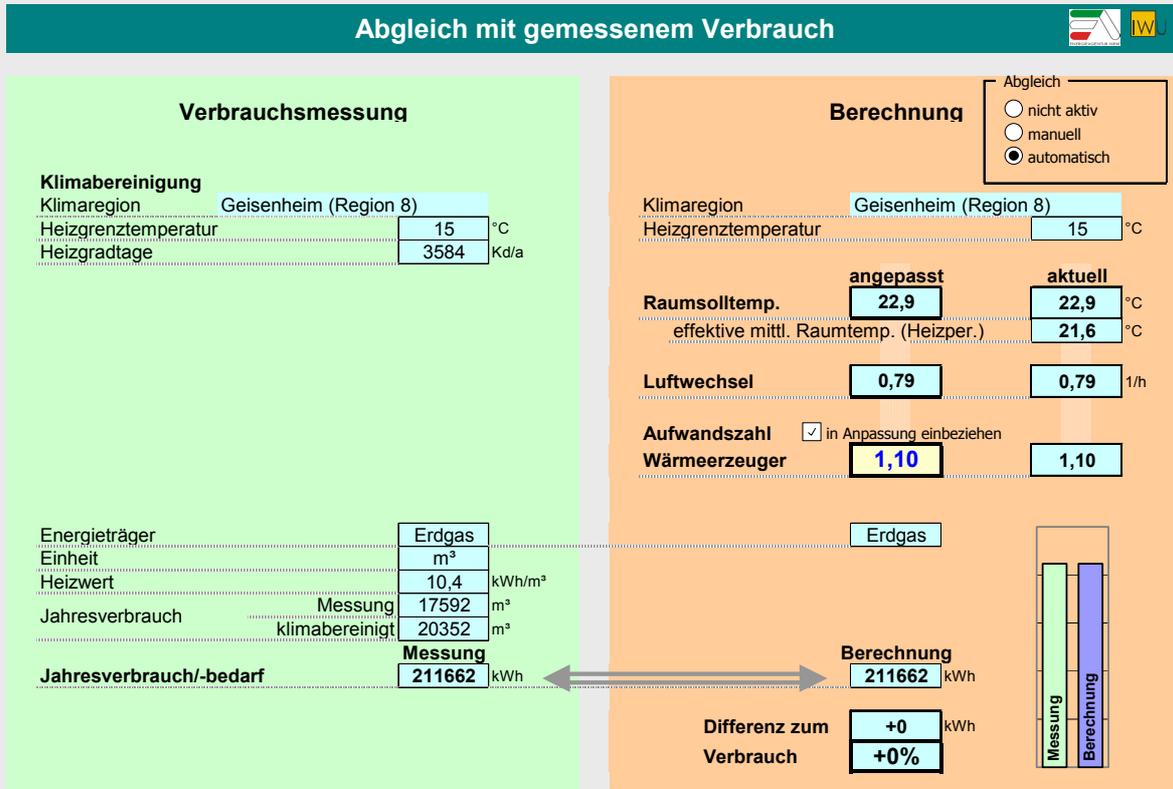


Institut Wohnen und Umwelt, Februar 2003

5.1 Verbrauchsabgleich

Um besser verstehen zu können, wie Differenzen zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch entstehen, verfügt auch das Berechnungsblatt „Energiepass Heizung Warmwasser“ über eine Funktion zum Verbrauchsabgleich. Dabei werden die Raumtemperatur und die Luftwechselrate so lange variiert, bis die Energiebilanzrechnung den selben Wert ausweist wie der gemessene Verbrauch. Nachdem in dem Rechenblatt der Nutzenergiebedarf Warmwasser auf 70 kW/(m²a) gesetzt wurde, ergibt der Verbrauchsabgleich eine mittlere Raumtemperatur in der Heizperiode von 22,9 °C und eine Luftwechselrate von 0,79 h⁻¹. Die Luftwechselrate bezieht sich dabei auf den energetisch wirksamen Luftwechsel; d. h. der reale Luftwechsel liegt eher im Bereich von 1,1 h⁻¹. Das sind im Zusammenhang mit dem extrem hohen Warmwasserverbrauch gesehen keine unplausiblen Werte.

Tab. 6: Ausgabe der Nutzungsdaten nach erfolgtem Verbrauchsabgleich



5.2 Mögliche Ursachen der Differenzen

Ohne eine detailliertere Verbrauchserfassung und eine gründliche Überprüfung der haustechnischen Einrichtungen sollte man jedoch nicht allein im dem Verhalten der Bewohnern die Ursache für den zu hohen Verbrauch suchen. Um auch auf technischer Seite alle Unzulänglichkeiten auszuschließen empfehlen wir folgende Schritte:

- Eine umfassende Analyse aller beschaffbaren Verbrauchsdaten (am besten auch der Rohdaten des Abrechnungsunternehmens)
- Eine Temperaturmessung in allen Haustechnischen Anlagenteilen um mögliche Fehler im regelungstechnischen Konzept oder der Parametrierung zu erkennen. Im Anschluss daran lassen sich auch die Verluste der Haustechnik exakter bestimmen. Im Moment beruhen die Berechnungen nur auf Rohrleitungslängen aus den Planunterlagen, sowie Standardannahmen für die Temperaturniveaus und Dämmstandards der Leitungen.
- Eine Befragung der Mieter über deren Nutzungsgewohnheiten könnte Hinweise auf möglichen fehlerhaften Umgang mit Heizungs- und Lüftungsanlage geben.
- Um Anhaltspunkte für die Abschätzung des Restluftwechsels zu erhalten wäre ein Drucktest der einzelnen Wohnungen nötig. Dabei ließen sich auch Leckagen aufzuspüren und teilweise nachträglich beseitigen (z.B. verzogene Fensterrahmen nachstellen)

6 Kosten und Wirtschaftlichkeit

6.1 Abgerechnete Kosten

Tab. 7 zeigt die abgerechneten Kosten für das gesamte Bauvorhaben aufgegliedert nach Gewerken. Mit 2.222 € je m² Wohnfläche liegen die Kosten deutlich über typischen Neubaukosten.

Tab. 7: Übersicht über die gesamten Kosten der Modernisierung

beheizte Wohnfläche: 862,3 m² (Energiebilanz) = Bezugsgröße dieser Tabelle
959,0 Abgerechnete Fläche Wohnbau Mainz

Baunebenkosten:		Bgr.: 13								
	Firma	Gewerk	Auftrag EURO	Zahlungen	Kosten pro Wohnfläche	Anteilig Neben-kosten o. Bau-kosten	Anteilig Gesamt-projekt			
Euro										
Außenanlagen	a	MiniMum	Abbrucharbeiten	- €	4.158,21 €	4,82 €	1,8%			
	a	Schöntag	Verwertung von Grünabfällen	- €	116,24 €	0,13 €	0,1%			
	a	Gebäudeinstandhaltung	Baumfällarbeiten zwecks Neubeplantzung	- €	441,80 €	0,51 €	0,2%			
	a	Gebäudeinstandhaltung	Grünschnitt und Bauschutt entfernt	- €	1.653,34 €	1,92 €	0,7%			
				Zwischensumme:	6.369,60 €	7,39 €	2,8%	0,33%		
Entsorgung	e	Gebäudeinstandhaltung	Kellerräume entrümpelt	- €	828,68 €	0,96 €	0,4%			
	e	Stenzel	Entrümpelung	- €	2.160,35 €	2,51 €	1,0%			
	e	Schöntag	Baumischabfälle	- €	101,54 €	0,12 €	0,0%			
	e	Schöntag	Baumischabfälle	- €	1.072,44 €	1,24 €	0,5%			
	e	Schöntag	Baumischabfälle	- €	409,71 €	0,48 €	0,2%			
	e	Schöntag	Baumischabfälle	- €	665,46 €	0,77 €	0,3%			
	e	Schöntag	Containerdienst	- €	508,40 €	0,59 €	0,2%			
	e	Möhler, Paul	Kehrdienst	- €	74,32 €	0,09 €	0,0%			
				Zwischensumme:	5.820,89 €	6,75 €	2,6%	0,30%		
Planung und Vorbereitung	p	Planergruppe	Pilotprojekt Hallgarter Str. 3	27.339,32 €	27.339,29 €	31,71 €	12,1%			
	p	Planergruppe	Pilotprojekt Hallgarter Str. 3	- €	3.558,59 €	4,13 €	1,6%			
	p	Projektgemeinschaft	Pilotprojekt Hallgarter Str. 5	27.535,77 €	27.535,78 €	31,93 €	12,1%			
	p	Projektgemeinschaft	Pilotprojekt Hallgarter Str. 5	- €	3.558,59 €	4,13 €	1,6%			
	p	Planquadrat	Pilotprojekt Hallgarter Str. 7,9	44.266,83 €	46.259,65 €	53,65 €	20,4%			
	p	Bierbaum + Partner	Freiraumplanung Hallgarter Str. 3-9	23.334,61 €	25.616,93 €	29,71 €	11,3%			
	p	Schmitt, Dipl.-Ing.	Tragwerksplanung	23.305,32 €	23.732,35 €	27,52 €	10,5%			
	p	Schmitt, Dipl.-Ing.	Brandschutznachweis	427,03 €	- €	- €	0,0%			
	p	Jordan, Dipl.-Ing.	Prüfstatik	- €	2.679,69 €	3,11 €	1,2%			
	p	GWS	Planung der Haustechnik	- €	35.585,92 €	41,27 €	15,7%			
	p	ITA GmbH	Prüf. Schalldämmung	3.420,10 €	2.889,10 €	3,35 €	1,3%			
	p	Westhaus GmbH	Baugrunderkundung	750,86 €	750,86 €	0,87 €	0,3%			
	p	Westhaus GmbH	Sicherheits- u. Gesundheitsk.	5.159,96 €	5.871,68 €	6,81 €	2,6%			
	p	Katasteramt	Lageplan	- €	1.049,15 €	1,22 €	0,5%			
p	Bruch	Tagelohnarbeiten "Proben"	- €	236,65 €	0,27 €	0,1%				
p	Möhler, Paul	Prüfung der Schornsteinanlage	- €	177,94 €	0,21 €	0,1%				
				Zwischensumme:	206.842,17 €	239,87 €	91,2%	10,79%		
Sonstiges	s	Repromaly	Kopien	- €	1.279,64 €	1,48 €	0,6%			
	s	Grasemann	Bauschildanlage	4.107,21 €	4.056,79 €	4,70 €	1,8%			
	s	Stadt Wiesbaden	Kostenentscheid	- €	932,60 €	1,08 €	0,4%			
	s	Stadt Wiesbaden	Kostenentscheid	- €	528,93 €	0,61 €	0,2%			
	s	Müller-Stoiber	Bauschildanlage	- €	1.008,27 €	1,17 €	0,4%			
s	entega	Baustrom	- €	22,42 €	0,03 €	0,0%				
				Zwischensumme:	7.828,65 €	9,08 €	3,5%	0,41%		
				Zwischensumme:	- €	- €	0,0%			
Gesamtsumme Baunebenkosten:				226.861,31 €	263,09 €	100,0%				

Tab. 7 Übersicht über die gesamten Kosten der Modernisierung (Fortsetzung)

		Baukosten						
		Firma	Gewerk					
Aus- und Neubau	a	Schwarzwald Akustik	Trockenbauarbeiten	161.447,75 €	308.803,27 €	358,12 €	18,3%	
	a	Schwarzwald Akustik	Trockenbauarbeiten Anbau Haus 7 + 9	- €	596,16 €	0,69 €	0,0%	
	a	Bender	Innen- u. Aussenputz	64.457,08 €	61.273,29 €	71,06 €	3,6%	
	a	Bender	Nachtrag zum Vertrag 172/00	1.304,81 €	1.304,81 €	1,51 €	0,1%	
	a	Kociok	Fliesenarbeiten	28.680,48 €	25.545,56 €	29,62 €	1,5%	
	a	Landua	Balkonanbauten	64.013,44 €	47.982,06 €	55,64 €	2,8%	
	a	Landua	Schutzgeländer auf den Holzanbauten geliefert u	- €	7.158,09 €	8,30 €	0,4%	
	a	Landua	Trennwand + Geländer	- €	5.105,10 €	5,92 €	0,3%	
	a	Landua	Lüftungsgitter - Geländer	- €	1.232,56 €	1,43 €	0,1%	
	a	Baudeko	Bodenbelagsarbeiten	34.394,97 €	35.536,84 €	41,21 €	2,1%	
	a	Baudeko	Nachberechnung Bodenbelag	- €	60,93 €	0,07 €	0,0%	
	a	Harth	Anbau Gartenbereich	94.737,20 €	101.666,91 €	117,90 €	6,0%	
	a	Harth	Nachtrag	2.812,11 €	2.812,11 €	3,26 €	0,2%	
	a	Elektro Fiebig GmbH	Elektroinstallation/Aussenbeleuchtung + Sprechanlage	53.760,26 €	60.732,96 €	70,43 €	3,6%	
	a	Elektro Fiebig GmbH	Zwischenzähler montiert	- €	299,49 €	0,35 €	0,0%	
	a	Schöneck	Innen- und Aussentüren	57.233,24 €	51.268,99 €	59,46 €	3,0%	
	a	Kociok	Reparaturarb. Z.L. Fa. Schöneck	- €	263,44 €	0,31 €	0,0%	
	a	Kutschmann	Maler- und Tapezierarbeiten	30.016,86 €	43.437,28 €	50,37 €	2,6%	
	a	Mainzer-Schlüssel-Laden	EG WHG Hennig/Terrasse	- €	73,47 €	0,09 €	0,0%	
	a	Moritz	Schließanlage	1.532,89 €	1.799,37 €	2,09 €	0,1%	
	a	Trox Objekt GmbH	Kellertrennwände	1.819,18 €	2.460,29 €	2,85 €	0,1%	
	a	Stadt Wiesbaden	Herstellung einer Überfahrt "Fa. Brunett"	- €	1.960,19 €	2,27 €	0,1%	
	a	Sauer	Natursteinarbeiten	7.413,73 €	7.413,73 €	8,60 €	0,4%	
	a	Sixel	Türschlösser	- €	208,80 €	0,24 €	0,0%	
	a	Sixel	Eingangstor Rampe	- €	899,70 €	1,04 €	0,1%	
	a	Gebäudeinstandhaltung	Kellerraum angelegt und mit Fließestrich ausgele	- €	928,09 €	1,08 €	0,1%	
	a	Antennen Redmann	GA-Antennenanlage Interne Verkabelung im Keller herstellen	- €	3.029,30 €	3,51 €	0,2%	
	a	Langner GmbH	Kopplette Lieferung und Montage Podest	310,88 €	310,88 €	0,36 €	0,0%	
	a	Jertz	Tagelohnarbeiten	- €	549,67 €	0,64 €	0,0%	
	a	KIT-Parkett	Abschlußwinkel u. Parkettleisten montiert	- €	45,65 €	0,05 €	0,0%	
	a	Ohlenmacher	Velux-Öffnungsstangen	- €	117,39 €	0,14 €	0,0%	
	a	Sixel	Landschaftsbauarbeiten	156.082,85 €	153.195,65 €	177,66 €	9,1%	
	Zwischensumme:				928.072,02 €	1.076,28 €	54,9%	48,44%
	Dacharbeiten	d	Ohlenmacher	Dachdecker- u. Klempnerarb.	65.548,02 €	103.412,86 €	119,93 €	6,1%
		d	Ammann GmbH & Co.KG	Zimmererarbeiten	47.080,17 €	59.844,28 €	69,40 €	3,5%
d		Ammann GmbH & Co.KG	Zimmererarbeiten/Nachtrag	6.191,95 €	- €	-	-	
d		Ammann GmbH & Co.KG	Wandanschlußleisten	- €	678,27 €	0,79 €	0,0%	
Zwischensumme:				163.935,40 €	190,11 €	9,7%	8,56%	
Fenster	f	Hanke GmbH	Tischlerarb./Holzfenster	58.765,25 €	76.866,92 €	89,14 €	4,6%	
	f	Hanke GmbH	Tischlerarb. Nachtrag 010002,010003	16.546,44 €	- €	-	-	
	f	Hanke GmbH	Maisonette Hs. 5 + Treppenhäuser	- €	1.335,62 €	1,55 €	0,1%	
Zwischensumme:				78.202,54 €	90,69 €	4,6%	4,08%	
Gerüst	g	Paul	Gerüstbauarbeiten	4.346,29 €	10.837,23 €	12,57 €	0,6%	
	g	Harth	Demontage Gerüst z.L. Fa. Paul	- €	403,31 €	0,47 €	0,0%	
	Zwischensumme:				11.240,53 €	13,04 €	0,7%	0,59%
Rohbau	r	Stenzel, Rolf	Abbrucharbeiten	108.649,11 €	85.923,14 €	99,64 €	5,1%	
	r	Stenzel, Rolf	Rohbauarbeiten/Sanierung	- €	66.980,26 €	77,68 €	4,0%	
	r	Stenzel, Rolf	Ents. V. Verkleidungen	9.385,79 €	- €	-	-	
	r	Stenzel, Rolf	Tagelohnarb. Bauzwischenreinigung	- €	2.307,42 €	2,68 €	0,1%	
Zwischensumme:				155.210,83 €	180,00 €	9,2%	8,10%	
Heizung und Sanitär	s	Dornhöfer	Sanitärinstallation	214.000,00 €	284.320,10 €	329,72 €	16,8%	
	s	Dornhöfer	Verstopfung beseitigt	- €	1.894,72 €	2,20 €	0,1%	
	s	Bender	zu Lasten Fa. Dornhöfer	- €	421,08 €	0,49 €	0,0%	
	s	Hahn	Notdienst z. L. Fa. Dornhöfer	- €	159,60 €	0,19 €	0,0%	
	s	Dornhöfer	Heizungsinstallation	siehe Sanitär	- €	-	-	
	s	Dornhöfer	Heizungsinstallation	- €	172,42 €	0,20 €	0,0%	
	s	Dornhöfer	Heizungsinstallation	- €	224,81 €	0,26 €	0,0%	
	s	Techem	Zählermontage Warm-Kaltwasserzähler	- €	840,32 €	0,97 €	0,0%	
	s	Stadtwerke Mainz	Hausanschlüsse W + G	- €	10.794,39 €	12,52 €	0,6%	
Zwischensumme:				298.827,44 €	346,55 €	17,7%	15,60%	
Sonstiges	sonst	Sebald	Gebäudereinigung	- €	2.835,75 €	3,29 €	0,2%	
	sonst	Sebald	Gebäudereinigung	- €	174,00 €	0,20 €	0,0%	
	sonst	BHG GmbH	Halligarter Str. 5+9 Rg. 7020520	- €	1.579,60 €	1,83 €	0,1%	
Zwischensumme:				4.589,35 €	5,32 €	0,3%	0,24%	
Dämmarbeiten		Robert Wagner Dämmtech.	Zellulose-Dämmarbeiten	73.269,77 €	49.157,61 €	57,01 €	2,9%	
	Zwischensumme:				49.157,61 €	57,01 €	2,9%	2,57%
Summe:				Gesamtsumme Baukosten: 1.689.235,73 €	1.958,99 €	100,0%		

In diesem Bericht soll der Fokus allein auf der energetischen Seite der Sanierung liegen. Diese Positionen sind in der oben stehenden Tabelle teilweise nicht direkt ersichtlich. So sind die Kosten für die Kellerdeckendämmung im Trockenbau enthalten, die Lüftungs- und die Solaranlage sind in der Position „Heizung und Sanitär“ subsummiert.

In den Tabellen 8 bis 12 sind die angefallenen Kosten für die energetisch relevanten Maßnahmen im Detail aufgelistet. Dabei wird unterschieden zwischen „bauteilbezogenen“ und „hüllflächenbezogenen“ Kosten. Als Bauteil wird hier die in der Abrechnung angegebene Fläche verstanden, als Hüllfläche die in der Energiebilanz angesetzte Fläche. Aufgrund von unterschiedlichen Bezugskanten und Messvorschriften (Übermessen von Fenstern) können sich beide Flächen z.T. erheblich unterscheiden. In der Berechnung der Wirtschaftlichkeit im nächsten Abschnitt werden ausschließlich hüllflächenbezogene Werte verwendet.

Die Satellitenanbauten stellen einen Neubau dar, und müssen deshalb bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen unberücksichtigt bleiben. Probleme macht auch eine exakte Trennung zwischen den für die Sanierung erforderlichen Baumaßnahmen und den energetisch bedingten Mehrkosten. Im Fall der Kellerdecke ist die Dämmung der Unterseite eine ausschließlich energetische Maßnahme, die ebenfalls an der Minderung der Transmissionswärmeverluste beteiligte Ausgleichsschüttung hingegen war allein schon zur Nivellierung der Unebenheiten im Fußboden erforderlich. Ähnlich ist die Situation im Dachgeschoss. Auch hier ist aus bautechnischen Gründen ein völlig neuer Dachstuhl aufgerichtet worden, und hätte schon aufgrund der EnEV einen U-Wert unter 0,3 W/m²*K haben müssen. Geringe Mehrkosten sind lediglich durch die Erhöhung der Dämmstärke entstanden. In diesen Fällen werden nur die Kosten in Ansatz gebracht, die über eine „normale“ Instandsetzung bzw. Erneuerung hinaus gehen. Bei den Maßnahmen, die allein der Energieeinsparung dienen werden die Vollkosten angesetzt.

In den Tabellen wird jede Position bewertet, zu welchem Anteil sie tatsächlich durch die energetische Modernisierung bedingt ist. Die hüllflächenbezogenen Kosten werden somit in einen Anteil „energiebedingte Mehrkosten“ und einen Anteil „Instandhaltungskosten“ aufgeteilt. Nur die energiebedingten Mehrkosten gehen in die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ein.

Tab. 8: Kostendaten Zusatzdämmung Kellerdecke

KOSTENAUSWERTUNG Hallgarter Straße										
Nr.	Positionstitel	Wohnflächenbezogen (brutto)		Sanierungskosten						
		Menge	Einheit	Grundpreis	Gesamtpreis netto	Gesamtpreis brutto	Anteil am Gesamtpreis	energierelevanter Anteil	Energiebedingte Kosten	Instandhaltungskosten
				[€/m ² Bauteil]	[€]	[€]				
1 Kellerdecke										
172,00	Einbau Heratekplatten	862,3	m ²	14,36	10.677,88	12.386,34	96%	100%	12.386,34 €	- €
	Stundenlohnarbeiten	862,3	m ²	0,62	461,19	534,97	4%	100%	534,97 €	- €
				14,98	11.139,06	12.921,31	100%		12.921,31 €	- €

Tab. 9: Kostendaten Dämmung Außenwand

KOSTENAUSWERTUNG Hallgarter Straße										
Angebot Positionstitel	nach LV			Sanierungskosten						
	Menge	Einheit	EP	Gesamtpreis netto	Gesamtpreis brutto	Anteil am Gesamtpreis	energierelevanter Anteil	Energiebedingte Kosten	Instandhaltungskosten	
			EP	[€]	[€]	s				
			[DM/Einheit]							
			[€/Einheit]							
1 Fassade										
div. Nachtrag Gutexsystem	619,1 m²		12,00	6,14	3.798,61	4.406,39	6%	100%	4.406,39 €	- €
X.2.10 Haftbrücke	344,2 m²		4,80	2,45	844,64	979,78	1%	100%	979,78 €	- €
X.2.20 Putzsystem	601,1 m²		52,00	26,59	15.982,08	18.539,22	27%	0%	- €	18.539,22 €
X.2.30 Gewebewinkel	269,2 lfm		9,00	4,60	1.238,71	1.436,91	2%	100%	1.436,91 €	- €
X.2.90 Sockelschiene	96,9 lfm		9,00	4,60	445,67	516,97	1%	100%	516,97 €	- €
X.2.110 Putzbewehrung - Gittergewebe	601,1 m²		10,00	5,11	3.073,38	3.565,12	5%	100%	3.565,12 €	- €
X.3.10 Zwischenbeschichtung	601,1 m²		6,00	3,07	1.844,03	2.139,07	3%	0%	- €	2.139,07 €
X.3.20 Schlußbeschichtung	601,1 m²		6,00	3,07	1.844,03	2.139,07	3%	0%	- €	2.139,07 €
X.3.60 Fensterlaibung	67,9 lfm		9,00	4,60	312,54	362,55	1%	100%	362,55 €	- €
X.3.60 Traufbretter streichen	56,4 m²		18,00	9,20	519,06	602,11	1%	0%	- €	602,11 €
div. Verputzarbeiten Giebel	1,0 pausch		700,00	357,90	357,90	415,17	1%	0%	- €	415,17 €
div. Dehnungsfugen	36,0 lfm		13,00	6,65	239,28	277,57	0%	100%	277,57 €	- €
5.1.10 Stundenlohnarbeiten	1,0 pausch		2415,24	1234,89	1.234,89	1.432,47	2%	50%	716,24 €	716,24 €
Dämmung (Rech.: 171/00)										
012 Gutex-Thermowall	642,8 m²		78,50	40,14	25.799,69	29.927,64	43%	100%	29.927,64 €	- €
0.14 Anschlussfugen Abdichten	326,1 lfm		4,75	2,43	791,98	918,69	1%	100%	918,69 €	- €
015 Sockelabschlussleiste	89,2 lfm		24,30	12,42	1.108,26	1.285,58	2%	100%	1.285,58 €	- €
SUMME:					59.434,75	68.944,31	100%		44.393,43 €	24.550,88 €

Tab. 10: Kostendaten Zusatzdämmung Dach

Für die Dämmmaßnahmen die über die geltenden gesetzlichen Vorschriften hinaus gehen, werden nur die Materialkosten angesetzt.

			Preis [€/m³]	Mehrkosten je m²
Zusätzliches Material je m²	0,072	m³ Zelluloseflocken	64,84 €	4,67 €
Dachfläche	0,008	m³ Bauholz	360,00 €	2,88 €
				7,55 €

Tab. 11: Kostendaten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Haus 3)

Lüftungsanlage laut Endabrechnung	(Nettopreise)
Aluminiumschlauch	99,52 €
Spiralfalzrohr	742,85 €
T-Stücke	112,86 €
Abgangsstutzen	123,60 €
Rohrbogen	567,45 €
zwei Lüftungsgeräte mit WRG	2.187,32 €
Rohrverschlussklappe	96,04 €
Wetterschutzgitter	154,34 €
Metall-Tellerventil	353,88 €
Schalldämpfer	377,20 €
Inbetriebnahme und Einregulierung	89,32 €
Summe	4.904,38 €

Tab. 12: Kostendaten Solaranlage (alle Häuser)

Solaranlage laut Endabrechnung	(Nettopreise)
Kollektoren	7.072,16 €
Anschluss	218,98 €
Befestigung	345,50 €
Ausdehnungsgefäß	114,17 €
Entlüfter	77,60 €
Flüssigkeit	261,22 €
Fühler	33,91 €
Abgleichventil	65,36 €
Inbetriebnahme	551,68 €
Sicherheitsventil	14,15 €
Schnellentlüfter	89,32 €
Mehrpriesschichtenspeicher	397,75 €
Anbindeleitungen	1.213,72 €
Solarladestation	1.416,02 €
Regelung	365,43 €
Summe	12.236,97 €

gegen Buderus Logalux 300I (Listenpreis)

6.2 Betriebswirtschaftliche Betrachtung

Mit 4% der Bausumme für die Erneuerung der Fenster, 0,7% für die Dämmung der Kellerdecke und 2,6% für die Dämmung von Dach und der Satellitenanbauten nehmen sich die Kosten für den Wärmeschutz im Vergleich zu den Gesamtkosten recht bescheiden aus. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wurden Berechnungen mit der Kapitalwertmethode durchgeführt. Als Randbedingungen wurden die nominale Teuerungsrate allgemein mit 1% und für Energie mit 4% angesetzt, der Kalkulationszinsfuß beträgt 6% und der aktuelle Preis des Energieträgers Erdgas liegt bei 4 Ct/kWh. Als rechnerische Lebensdauer der Maßnahmen wurden bei den baulichen Maßnahmen generell 25 Jahre angesetzt; für haustechnische Anlagen 15 Jahre – die tatsächliche Lebensdauer dürfte jedoch z.T. erheblich höher liegen. Förderungen oder sonstige Zuschüsse wurden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Da die Zentralheizung – unabhängig vom Energiekonzept – in jedem Fall eingebaut worden wäre, wird deren Wirtschaftlich hier nicht betrachtet. Gleiches gilt für den Brennwertkessel: Dieser ist heute schon eine Standardmaßnahme beim Einbau von Gaszentralheizungen.

Um die betriebswirtschaftliche Berechnung durchführen zu können wurden die Energiebilanzen ohne die zusätzlichen Anbauten berechnet werden.

Die Varianten mit denen die Einsparungen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung bestimmt wurden sind wie folgt definiert:

Tab. 13: Varianten für die Wirtschaftlichkeitsrechnung und deren Bedarfswerte

	Definition der Varianten	Endenergiebedarf [kWh/a]
1	Eingangsvariante: Nur der Erdgeschossboden ist mit Ausgleichsschüttung saniert, die Zentralheizung eingebaut	226496
2	Die Kellerdecke wird zusätzlich von unten gedämmt	216277
3	Die Fenster im Erdgeschoss und im OG sind gewechselt; $U_G=1,8\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$	210704
4	Fenster mit $U_G=1,1\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$	209689
5	die Außenwand ist gedämmt	186578
6	Das Dach ist umgebaut (Wohnflächenvergrößerung); U-Wert nach EnEV= $0,3\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$	147670
7	Dämmung im Dach mit $U_D=0,19$ wie aufgeführt	124408
8	Solaranlage installiert	118508
9	Die kontrollierte Lüftung mit WRG ist eingebaut	99195

Die Kostendaten verbunden mit den Energiebedarfswerten und den oben definierten Grundannahmen liefen die Eingangsdaten für die Wirtschaftlichkeitsrechnung. Als Ergebnis werden für jede der Maßnahmen die Kosten pro eingesparte kWh Erdgas ausgewiesen. Diese müssen jeweils mit den Kosten für den Energiebezug verglichen werden. Aus den oben genannten Ansätzen ergibt sich ein über den Betrachtungszeitraum gemittelter Erdgaspreis von 5,6 Ct/kWh. Liegen die Kosten der eingesparten kWh niedriger als die Energiebezugskosten, so ist die Maßnahme als wirtschaftlich anzusehen.

Tab. 14: Wirtschaftlichkeitsrechnung
Berechnung Maßnahmen

Bezeichnung Maßnahme

Investition

		Kellerdecke Variante 2 gegen 1	Fenster EG + OG F _G =1,1 Variante 4 gegen 3	Außen-dämmung Variante 5 gegen 4	Zusatz-dämmung Dach Variante 7 gegen 6	Solaranlage Variante 8 gegen 7	Lüftungsanlage mit WRG Variante 9 gegen 8	Gesamt
rechnerische Lebensdauer	a	25	25	25	25	15	15	25
Einheit		m ²	m ²	m ²	m ²	-	Haus	
Gesamtkosten pro Einheit	€/Einheit	34	297	75	348	12.237	4.976	
Ohnehinkosten pro Einheit	€/Einheit	0	287	42	340	0	0	
energiebedingte Mehrkosten pro Einheit	€/Einheit	34	10	34	8	12.237	4.976	
Anzahl Einheiten		378	97	579	469	1	4	
energiebedingte Mehrkosten gesamt	€	12.921	972	19.432	3.538	12.237	19.904	69.004
investitionsbezogene jährl. Wartungskosten	p.a.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	2,0%	
Förderung		0	0	0	0	0	0	0

Energieeinsparung absolut

jährl. Energiebedarf ohne Maßnahme	kWh/a	226.496	210.704	209.689	147.670	124.408	118.508	
jährl. Energiebedarf mit Maßnahme	kWh/a	216.277	209.689	186.578	124.408	118.508	99.195	
Einsparung	kWh/a	10.219	1.014	23.111	23.263	5.899	19.313	82.819
jährl. Energiekosteneinsparung	€/a	570	57	1.290	1.299	329	1.078	4.624

Wirtschaftlichkeit

Investition	€	12.921	972	19.432	3.538	12.237	19.904	69.004
Annuitätsfaktor (real)		0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071
Ersatzinvestitionsfaktor		1,00	1,00	1,00	1,00	1,42	1,42	
jährliche Kapitalkosten	€/a	912	69	1.372	250	1.225	1.993	5.820
Energiekosteneinsparung annuitätisch	€/a	570	57	1.290	1.299	329	1.078	4.624
Kosten Hilfsenergie (Strom=0,12€/kWh)	€/a	0	0	0	0	2	673	675
Zusatzkosten annuitätisch	€/a	0	0	0	0	245	398	643
Förderung annuitätisch		0	0	0	0	0	0	0

Berechnungsergebnisse

Annuitätischer Gewinn (real)	€/a	-342	-12	-82	1.049	-1.143	-1.985	-1.839
Kosten der eingesparten Energie (real)	Ct/kWh	8,9	6,8	5,9	1,1	25,0	15,9	7,8

Mit 1,1 Ct/kWh schneidet die Zusatzdämmung des Daches am besten ab, da hier nur die reinen Materialkosten angerechnet werden konnten. Die mit dem Einbau verbundenen Mehrkosten hätten nur anhand eines alternativen Angebotes ermittelt werden können, das aber nicht vorliegt. Annähernd rentabel mit 5,9 Ct/kWh ist die Außenwanddämmung, obwohl hier kein besonders preisgünstiges Material verwendet wurde. Die Kosten der eingesparten kWh für die bessere Verglasung liegen bei 6,8 Ct/kWh. Dass die Kellerdeckendämmung mit 8,9 Ct/kWh relativ schlecht abschneidet, liegt an der Tatsache, dass bereits durch die Herstellung eines ebenen Untergrundes mit einer Ausgleichsschüttung eine U-Wertverbesserung eingetreten ist. Die Lüftungsanlage ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht mit 15,9 Ct/kWh nicht wirtschaftlich, trägt jedoch zu einem Komfortgewinn bei, der auch der Wohnwertsteigerung dient.¹ Die Solaranlage ist mit 25 Ct/kWh die teuerste Energiesparmaßnahme. Das liegt zum einen am Preis der verwendeten Komponenten, zum anderen an den Kosten für die beiden relativ langen Anbindestränge.

¹ Von einigen Wohnungsunternehmen werden heute generell Abluftanlagen eingesetzt, um unabhängig vom Nutzerverhalten in jedem Fall eine hygienische Grundlüftung sicher zu stellen. Unter diesen Voraussetzungen würden in die Berechnung der Wirtschaftlichkeit nur die Mehrkosten für den zentralen Zuluftstrang und die Wärmerückgewinnung einfließen. Damit würden sich die Kosten der eingesparten kWh etwa halbieren.

7 Zusammenfassung

Die Sanierung der Gebäude in der Hallgarter Str. ist vom Ansatz positiv zu beurteilen:

- Der Wärmeschutz von Dach, Wand und Kellerdecke mindert deutlich die Transmissionsverluste.
- Der Einbau einer Lüftungsanlage in ein Bestandsgebäude ist immer noch eine Pionierleistung. Ausgereifte effiziente Geräte für diesen Zweck und erprobte Verfahren für deren Einbau gibt es noch nicht. Aus Gründen der Komfortverbesserung, der Feuchteabführung und der Energieeinsparung, ist es jedoch wichtig dieser Technik zu erproben und weiter zu entwickeln.
- Die gestalterische Einbindung der Solaranlage in die Anbauten ist gelungen.
- Die Option der Nutzung von Nahwärme eröffnet die Möglichkeit einer weiteren deutlichen CO₂-Einsparung.

Die Zusammenfassung der Maßnahmen Grundrissneugestaltung (Vergrößerung der Wohneinheiten), energetische Sanierung und Renovierung ist der richtige Weg, um bei Gebäuden dieser Altersklasse die Vermietbarkeit zu sichern und gleichzeitig die Nebenkosten zu senken. Im Hinblick auf die relativ hohen Verbrauchswerte sollen allerdings einige Punkte genannt werden, die bei künftigen Projekten verbessert werden könnten.

- Durch die freistehenden und von unten belüfteten Satellitenanbauten hat sich das A/V-Verhältnis verschlechtert. Kompaktere Anbauten, mit einer nicht belüfteten Unterseite wären energetisch günstiger gewesen.
- Offen ist die Frage, ob das Gebäude für den Einsatz einer kontrollierten Wohnungslüftung ausreichend dicht ist. Bei zukünftigen Bauvorhaben muss der Luftdichtheit in der Planung und in der Ausführung mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden und eine Bowerdoor-Messung in den Bauablauf integriert werden.
- Die Aufstellung der Wärmerückgewinnungsgeräte in den Wohnungen, oder effizientere Zentralgeräte könnten die Lüftungswärmeverluste und den Hilfsenergieeinsatz verringern. Dass die Anbauten nicht an das Lüftungssystem angeschlossen wurden bedingt, dass in den beiden vergrößerten Wohnzimmern (Haus 7 und 9) Fensterlüftung und kontrollierte Lüftung von den Bewohnern gleichzeitig betrieben werden müssen!
- Die generelle Vorwärmung der Zuluft in allen Räumen auf 20 °C ist fragwürdig. Um Zugescheinungen im Bereich der Zuluftventile zu vermeiden sind die von einem effizienteren Wärmetauscher (Gegenstromprinzip) dargebotenen ca. 17 °C völlig ausreichend. Eine Nachheizung der Zuluft mit ihren zusätzlichen Verlusten wird dadurch entbehrlich.

8 Literatur

- [EPHW 1997] Loga, T.; Imkeller-Benjes, U.: „Energiepass Heizung/Warmwasser“, IWU, Darmstadt 1997
- [Toolbox 2001] Loga, T.; Born, R.; Großklos, M.; Bially, M.: “Energiebilanz-Toolbox”, IWU, Darmstadt 2001

Anhang A: Dokumentation der Energiebilanzberechnungen für die Varianten vor und nach Sanierung

Blatt HW

Energiepass Heizung/Warmwasser Jahresheizwärmebedarf

Berechnung nach DIN V 4108-6 Heizperiodenbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt	Wiesbaden Hallgarter Straße 3 - 9	
Variante Nr.	2	Vor Modernisierung
Standort	PLZ/Ort	
	Straße/Haus-Nr.	
Gebäudeart / Nutzung	Mehrfamilienhaus	

Anzahl Geschosse	n_G	2,5
Anzahl Wohneinheiten	n_{WE}	21
<input checked="" type="radio"/> beheizte Wohnfläche		753,8 m ²
<input type="radio"/> beheizte Nettogrundfläche		
→ Energiebezugsfläche	A_{EB}	753,8 m ²

Klima	Geisenheim (Region 8)	
Heizgrenztemperatur	ϑ_{HG}	15 °C
Länge der Heizperiode	t_{HP}	289 d/a
mittl. Außentemperatur	ϑ_a	7,6 °C
Nutzungsbedingungen	Standard	
Raum-Solltemperatur	$\vartheta_{i,Soll}$	21,0 °C

Nachtabsenkung	
<input type="radio"/> keine	
<input checked="" type="radio"/> Nachtabsenkung	
<input type="radio"/> Nacht- u. Wochenendabs.	
Reduktionsfaktor	f_{ze} 0,92

Teilbeheizung		nicht direkt beheizter Raumanteil
<input type="radio"/> keine		
<input checked="" type="radio"/> Standard	n_{re}	7%
<input type="radio"/> individuell	n_{re}	
Reduktionsfaktor	f_{re}	1,00

<input checked="" type="checkbox"/> Nutzungsfaktor		0,88
effektive mittlere Raumtemp. in der Heizperiode	$\vartheta_{i,eff}$	18,4 °C

Transmission

Bauteilbezeichnung	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f_T	W/K	jährliche Energieströme, flächenbezogen kWh/(m ² a)
1. KD Kellerdecke	378,2	2,07	0,6	471	46,6
2. OG OG-Decke	192,2	0,69	1	133	13,1
3. AW Außenwand	579,2	1,33	1	768	76,1
4. FE Fenster	114,8	4,85	1	557	55,1
5. Tue Eingangstür	10,4	2,50	1	26	2,6
6. W_T_K Wand Treppe geg Keller	37,1	2,16	0,6	48	4,8
7. W_T_D Wand Treppe geg Dachraum	18,5	1,41	1	26	2,6
8. Aholz Holzschalung gegen außen (Dach+Gaube)	74,9	1,89	1	142	14,0
9. Dholz Gaubendächer	26,9	2,06	1	56	5,5
10. Dschr Dachschräge über beh. Räumen	160,2	2,74	0,6	263	26,1

Transmissionswärmeverlust H_T

Summe **2488** **246,4**

Lüftung

$$\text{Luftvolumen } V_L = \frac{A_{EB}}{m^2} \times \text{lichte Raumhöhe } h \text{ (m)} = 1885 \text{ m}^3$$

Luftwechsel	n_{Anl} 1/h	η_{WRG}	$n_{äqui}$ 1/h
Lüftungsanlage			0,00
Undichtigkeiten			0,20
Fensteröffnung			0,40
energetisch wirksam (äquivalenter Luftwechsel)			$\Sigma = 0,60$

zusätzl. Verluste	Länge m	U_K W/(m·K)	Reduktionsfaktor f_T	η_{WRG}	$H_{V,LK}$ W/K
Lüftungskanäle				0%	0,0

$$\text{Lüftungswärmeverlust } H_V = n_{äqui} \times V_L \times C_{p,Luft} + H_{V,LK} = 0,60 \times 1885 \times 0,34 + 0,0 = 384 \text{ W/K}$$

38,1

Wärmeverlust Gesamt

$$\text{Gradtagszahlfaktor} = \left(\overset{\vartheta_i}{21,0} - \overset{\vartheta_e}{7,6} \right) \times \overset{t_{HP}}{289} \times 0,024 = \overset{f_{GT}}{92,7}$$

$$\text{Wärmeverlust } Q_L = \left(\overset{H_T}{2488} + \overset{H_V}{384} \right) \times \overset{f_{ze/re}}{0,81} \times \overset{f_{GT}}{92,7} = \overset{Q_L}{214464}$$

284,5

Solare Wärmegewinne

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstrahlung Heizperiode (Heizgrenze 15 °C)	
					kWh/(m ² a)	kWh/a
3. Südost 0	SO	0,359	0,86	3,6	531	582
5. Südwest 0	SW	0,359	0,86	46,5	531	7631
9. Nordost 0	NO	0,359	0,86	64,7	319	6380

0,8
10,1
8,5

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S Summe **14593**

19,4

innere Wärmequellen

$$\text{innere Wärmequellen } Q_i = 0,024 \times \overset{q_i}{2,5} \times \overset{t_{HP}}{289} \times \overset{A_{EB}}{753,8} = \overset{Q_i}{13073}$$

17,3

nutzbare Wärmegewinne

Zeitkonstante $\tau = 12$ h Parameter $a = 1,22$ $\gamma = \frac{Q_S + Q_i}{Q_V} = 0,13$ Ausnutzungsgrad $\eta_G = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = 0,93$

nutzbare Wärmegewinne Q_G $\eta_G \times (Q_S + Q_i) = \overset{Q_G}{25672}$

34,1

Heizwärmebedarf

Heizwärmebedarf Q_H $Q_L - Q_G = \overset{Q_H}{188792}$

250,5

flächenbezogener Heizwärmebedarf q_H	250,5 kWh/(m ² a)
Anforderungen Niedrigenergiehaus	Grenzwert 100 Zielwert 50 kWh/(m ² a)
Verhältnis zu Anforderungen	250% 501%

Energiepass Heizung/Warmwasser

Jahresheizwärmebedarf

Berechnung nach DIN V 4108-6 Heizperiodenbilanz / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt	Wiesbaden Hallgarter Straße 3 - 9	
Variante Nr.	3	Wie ausgeführt
Standort	PLZ/Ort	
	Straße/Haus-Nr.	
Gebäudeart / Nutzung	Mehrfamilienhaus	

Anzahl Geschosse	n_G	2,5
Anzahl Wohneinheiten	n_{WE}	12
<input checked="" type="radio"/> beheizte Wohnfläche		862,3 m ²
<input type="radio"/> beheizte Nettogrundfläche		m ²
→ Energiebezugsfläche	A_{EB}	862,3 m ²

Klima	Geisenheim (Region 8)	
Heizgrenztemperatur	ϑ_{HG}	15 °C
Länge der Heizperiode	t_{HP}	289 d/a
mittl. Außentemperatur	ϑ_a	7,6 °C
Nutzungsbedingungen	Standard	
Raum-Solltemperatur	$\vartheta_{t,Soll}$	21,0 °C

Nachtabsenkung	
<input type="radio"/> keine	
<input checked="" type="radio"/> Nachtabsenkung	
<input type="radio"/> Nacht- u. Wochenendabs.	
Reduktionsfaktor	f_{ze} 0,94
<input checked="" type="checkbox"/> Nutzungsfaktor	

Teilbeheizung		nicht direkt beheizter Raumanteil
<input type="radio"/> keine		
<input checked="" type="radio"/> Standard	n_{re}	15%
<input type="radio"/> individuell	n_{re}	
Reduktionsfaktor	f_{re}	0,99
		1,02
effektive mittlere Raumtemp. in der Heizperiode	$\vartheta_{t,eff}$	20,3 °C

Transmission

Bauteilbezeichnung	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f_T	W/K	jährliche Energieströme, flächenbezogen kWh/(m ² a)
1. KD Kellerdecke	378,2	0,46	0,6	104	10,6
2. AW Außenwand	591,4	0,31	1	181	18,5
3. FE Fenster	221,9	1,70	1	377	38,5
4. Tue Eingangstür	10,4	2,50	1	26	2,6
5. W T K Wand Treppe geg Keller	37,1	0,58	1	21	2,2
6. Dholz Gaubendächer	97,2	0,23	0,6	13	1,4
7. Dschr Dachschräge über beh. Räumen	468,7	0,23	1	107	10,9
8. AB Bo Boden Anbau	66,4	0,22	0,9	13	1,3
9. AB W Wand Anbau	113,9	0,30	1	34	3,5
10. AB FE Fenster Anbau	37,1	1,45	1	54	5,5
11. AB D Dach Anbau	66,4	0,22	1	14	1,5
12. OG Boden Dachterrasse	12,1	0,28	1	3	0,3
Summe				947	96,7

Transmissionswärmeverlust H_T

Lüftung

Luftvolumen V_L		A_{EB} m ²	lichte Raumhöhe m	V_L m ³	
		862,3	2,5	2156	
Luftwechsel	n_{Anl} 1/h	η_{WRG}	n_{aqui} 1/h		
Lüftungsanlage	0,60	60%	0,24		
Undichtigkeiten			0,10		
Fensteröffnung			0,00		
energetisch wirksam (äquivalenter Luftwechsel)			$\Sigma = 0,34$		
zusätzl. Verluste	Länge m	U_K W/(m·K)	Reduktionsfaktor f_T	η_{WRG}	$H_{V,LK}$ W/K
Lüftungskanäle	82,5	0,43	0,6	60%	12,8
Lüftungswärmeverlust H_V	n_{aqui} 1/h	V_L m ³	$c_{p,Luft}$ Wh/(m ³ K)	$H_{V,LK}$ W/K	
	0,34	2156	0,34	12,8	262

Wärmeverlust Gesamt

$$\text{Gradtagszahlfaktor} = \left(\overset{\vartheta_i}{21,0} - \overset{\vartheta_e}{7,6} \right) \times \overset{t_{HP}}{289} \times \overset{f_{GT}}{0,024} = \overset{f_{GT}}{92,7}$$

$$\text{Wärmeverlust } Q_L = \left(\overset{H_T}{947} + \overset{H_V}{262} \right) \times \overset{f_{ze/re}}{0,95} \times \overset{f_{GT}}{92,7} = \overset{Q_L}{106396}$$

123,4

Solare Wärmegewinne

Fenster	Ausrichtung	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Globalstrahlung Heizperiode (Heizgrenze 15 °C)		kWh/a	
					kWh/(m ² a)	kWh/a		
1. horizontal 0	H	0,359	0	0,0	697	=	0	0,0
2. Ost 0	O	0,359	0	0,0	427	=	0	0,0
3. Südost 0	SO	0,359	0,6	71,3	531	=	8158	9,5
4. Süd 0	S	0,359	0	0,0	572	=	0	0,0
5. Südwest 0	SW	0,359	0,6	58,0	531	=	6640	7,7
6. West 0	W	0,359	0	0,0	427	=	0	0,0
7. Nordwest 0	NW	0,359	0,6	43,1	319	=	2967	3,4
8. Nord 0	N	0,359	0	0,0	276	=	0	0,0
9. Nordost 0	NO	0,359	0,6	86,6	319	=	5961	6,9

Wärmeangebot Solarstrahlung Q_S Summe 23726

27,5

innere Wärmequellen

$$\text{innere Wärmequellen } Q_i = 0,024 \times \overset{q_i}{2,5} \times \overset{t_{HP}}{289} \times \overset{A_{EB}}{862,3} = \overset{Q_i}{14955}$$

17,3

nutzbare Wärmegewinne

$$\tau = 32 \text{ h} \quad a = 1,95 \quad \gamma = \frac{Q_S + Q_i}{Q_V} = 0,36 \quad \eta_G = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = 0,91$$

nutzbare Wärmegewinne Q_G $\eta_G \times (Q_S + Q_i) = 35061$

40,7

Heizwärmebedarf

Heizwärmebedarf Q_H $Q_L - Q_G = 71335$

82,7

flächenbezogener Heizwärmebedarf q_H

82,7 kWh/(m²a)

Grenzwert	Zielwert
100	50
83%	165%

Anforderungen Niedrigenergiehaus
Verhältnis zu Anforderungen

Anhang B: Ermittlung der Flächen und Rohrleitungslängen

Tab. 15: Flächenermittlung für den Zustand vor der Sanierung

Kennung (beliebig)	Bezeichnung/Lage	Ausführung	Kürzel (max.30)	Fläche Orient. (s.u.)	Abzugs- fläche = A	Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl (wenn <=1)	Zusatz- fläche [m²]	U-Wert W/(m²K)	g-Wert	Fläche	Fläche	spezif.
													Brutto [m²]	Netto [m²]	Verlust [W/K]
KD	Kellerdecke		KD			8,55	48,05				2,1		410,8	378,2	794,2
Tr	Treppenhäuser				A	3,98	2,05		4					32,6	0,0
														0,0	0,0
OG	oberste Geschossdecke	Holzbalkendecke	OG			8,55	48,05				0,8		410,8	192,2	153,7
	Treppenhäuser				A	3,98	2,05		4					32,6	0,0
	Grundfläche Dachwohnung SW-Seite				A	3,54	31,00							109,7	0,0
	Grundfläche Dachwohnung NO-Seite				A	3,39	22,50							76,3	0,0
														0,0	0,0
														0,0	0,0
AW1	Wand Giebelseiten	Hohlblock 26 cm	AW			8,55		5,95	2		1,8		101,7	99,0	178,2
	Fenster Süd-Ost	Holz; Einscheibenglas	FE SO	A		1,10		1,25	2		5,6			2,8	15,4
AW1.1	Giebelw-Dachwohnung	Hohlblock 26 cm	AW			5,50		2,56			1,8		14,1	13,3	23,9
Fen_Dachw	Fenster Dachwohnung	Holz; Einscheibenglas	FE SO	A		0,80		1,00			5,6			0,8	4,5
														0,0	0,0
AW2	Wand Straßenseite	Hohlblock 26 cm	AW			48,05		5,95			1,8		285,9	234,3	421,7
Fen_Kü	Küchenfenster	Holz; Einscheibenglas	FE SW	A		1,25		1,34	16		5,6			26,7	149,5
Fen_WC	WC-Fenster	Holz; Einscheibenglas	FE SW	A		0,70		0,64	16		5,6			7,1	39,5
Fen_Treppe	Treppenhausfenster	Holz; Einscheibenglas	FE SW	A		1,14		1,65	4		5,6			7,5	42,1
Eing	Haustüren	Holz	Tue	A		1,19		2,18	4		2,5			10,4	25,9
														0,0	0,0
														0,0	0,0
AW3	Wand Gartenseite	Hohlblock 30 cm	AW			48,05		5,95			1,5		285,9	232,7	349,0
Fen_Zimmer	Fenster Zimmer EG+O	Holz; Einscheibenglas	FE NO	A		1,25		1,33	32		5,6			53,2	297,9
														0,0	0,0
														0,0	0,0
AW4	Seitenwände Gauben	Holzschalung	AHolz			1,40		1,10	16		1,8			24,6	44,4
DGaube	Dächer Gauben	Holzschalung	DHolz			1,40		1,20	16		1,8			26,9	48,4
Gaubenfenster	Fenster Gaube	Holz; Einscheibenglas	FE SW			1,10		0,95	5		1,8			5,2	9,4
Gaubenfenster	Fenster Gaube	Holz; Einscheibenglas	FE NO			1,10		0,95	11		1,8			11,5	20,7
Dach	Dach über beheizt SW	Holzschalung	Dschr					2,30	20,2		1,8			46,5	83,6
Dach	Dach über beheizt NO	Holzschalung	Dschr					2,30	9,3		1,8			21,4	38,5
Spitzb.	Spitzboden SW	Holzschalung	Dschr					1,60	31,00		1,8			49,6	89,3
Spitzb.	Spitzboden NO	Holzschalung	Dschr					1,90	22,50		1,8			42,8	77,0
														0,0	0,0
Trep_Keller	Wand Treppe geg Kelle Ziegel 27cm		W_T_K			11,60		0,80	4		1,9			37,1	70,5
Trep_Dach	Wand Treppe geg Dach Hohlblock 24 cm		W_T_D			4,40		1,40	3		1,85			18,5	34,2
Trep_Dachschräge	Dachschräge Treppen	Holzschalung	AHolz			2,37		3,40	4		1,8			32,2	58,0
Trep_Spitzb	Treppenhaus geg Spitz	Holzschalung	AHolz			2,37		1,90	4		1,8			18,0	32,4
														0,0	0,0

Tab. 16: Flächenermittlung für den Zustand nach der Sanierung

Kennung (beliebig)	Bezeichnung/Lage	Ausführung	Kürzel (max.30)	Fläche Orient. (s.u.)	Abzugs- fläche = A	Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl (wenn <1)	Zusatz- fläche [m²]	U-Wert [W/(m²K)]	g-Wert	Fläche	Fläche	spezif.
													Brutto [m²]	Netto [m²]	Verlust [W/K]
KD	Kellerdecke		KD			8,55	48,05				0,46		410,8	378,2	172,6
Tr	Treppenhäuser				A	3,98	2,05		4					32,6	0,0
														0,0	0,0
AW1	Wand Giebelseiten	Hohlblock 26 cm	AW			8,55		5,95	2		0,31		101,7	99,0	30,3
	Fenster Süd-Ost	Holz; Wärmeschutzglas	FE	SO	A	1,10		1,25	2		1,70			2,8	4,7
AW1.1	Giebelw-Dachwohnung	Hohlblock 26 cm	AW			8,55		4,20	1		0,31		35,9	35,1	10,7
Fen_Dachw	Fenster Dachwohnung	Holz; Wärmeschutzglas	FE	SO	A	0,80		1,00			1,70			0,8	1,4
														0,0	0,0
AW2	Wand Straßenseite	Hohlblock 26 cm	AW			48,05		5,95			0,31		285,9	234,3	71,7
Fen_Kü	Küchenfenster	Holz; Wärmeschutzglas	FE	SW	A	1,25		1,34	16		1,70			26,7	45,4
Fen_WC	WC-Fenster	Holz; Wärmeschutzglas	FE	SW	A	0,70		0,64	16		1,70			7,1	12,0
Fen_Treppe	Treppenhausfenster	Holz; Wärmeschutzglas	FE	SW	A	1,14		1,65	4		1,70			7,5	12,8
Eing	Haustüren	Holz	Tue		A	1,19		2,18	4		2,50			10,4	25,9
														0,0	0,0
AW4	Wand Dachterrassen	TrockenbauW+Dämmu	AW			2,35		2,10			0,31			4,9	1,5
AW3	Wand Gartenseite	Hohlblock 26 cm	AW			48,05		5,95			0,31		285,9	218,1	66,8
Fen_Zimmer	Fenster Zimmer EG+O	Holz; Wärmeschutzglas	FE	NO	A	1,25		1,33	32		1,70			53,2	90,4
	Zugang Anbauten				A	2,35		3,10	2					14,6	0,0
Gaubenf_seitlich	Seitenwände Gauben	Verglast (neu)	FE	NW		1,40		1,10	28		1,78			43,1	76,8
Gaubenf_seitlich	Seitenwände Gauben	Verglast (neu)	FE	SO		1,40		1,10	28		1,78			43,1	76,8
DGauBe	Dächer Gauben	Zwischen/untersparrend	DHolz			1,80		1,50	36		0,23			97,2	22,1
Gaubenfenster	Fenster Gaube	Holz; Wärmeschutzglas	FE	SW		1,10		0,95	16		1,70			16,7	28,4
Gaubenfenster	Fenster Gaube	Holz; Wärmeschutzglas	FE	NO		1,10		0,95	20		1,70			20,9	35,5
Dach	Dach über beheizt SW	Zwischen/untersparrend	Dschr			48,05	6,00				0,23		288,3	250,0	56,9
Grundfläche Gauben				A		1,80	1,33		16					38,3	0,0
Dach	Dach über beheizt NO	Zwischen/untersparrend	Dschr			48,05	5,80				0,23		278,7	218,7	49,7
Grundfläche Gauben				A		1,80	1,33		20					47,9	0,0
OG	Dachterrassen		OG		A	2,60	2,33		2		0,28			12,1	3,4
Trep_Keller	Wand Treppe geg Kelle	Ziegel 27cm	W_T_K			11,60		0,80	4		0,58			37,1	21,4
														0,0	0,0
														0,0	0,0
zusätzliche Wohnräume in Holzständerbauweise															
Anb_Boden	Wohnzimmer	Holzdecke mit Dämmu	AB_Bo			3,93	7,00		2		0,22			55,0	11,8
Anb_Boden	Flur	Holzdecke mit Dämmu	AB_Bo			2,42	2,35		2		0,22			11,4	2,4
Anb_Decke	Wohnzimmer	Holzdecke mit Dämmu	AB_D			3,93	7,00		2		0,26			55,0	14,2
Anb_Decke	Flur	Holzdecke mit Dämmu	AB_D			2,42	2,35		2		0,26			11,4	2,9
Anb_Wand	Flur+Wohnzimmer	Holzständerwand	AB_W			24,37		3,10	2		0,30		151,1	113,9	33,9
Anb_Fenster	Flur SO	Wärmeschutzglas	AB_FE	SO	A	2,25		2,52	2		1,45			11,3	16,4
Anb_Fenster	Wohnzimmer SO	Wärmeschutzglas	AB_FE	SO	A	3,00		0,79	2		1,45			4,7	6,9
Anb_Fenster	Wohnzimmer SO	Wärmeschutzglas	AB_FE	SO	A	1,69		2,52	2		1,45			8,5	12,4
Anb_Fenster	Wohnzimmer NO	Wärmeschutzglas	AB_FE	NO	A	2,49		2,52	2		1,45			12,5	18,2

Tab. 17.: Berechnung der Verteilverluste von Heizwärme und Warmwasser und des Brennstoffbedarfs im sanierten Zustand

Blatt BZH

Energiepass Heizung/Warmwasser
Brennstoffbedarf Zentralheizung
 Berechnung nach DIN V 4701-10 / Randbedingungen nach "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung"

Projekt: Wiesbaden Hallgarter Straße 3 - 9

Wärmeschutzvariante Nr. **3** Wie ausgeführt

Heizwärmegutschrift
 Pauschalwerte
 exakte Bestimmung

Gebäudetyp/Nutzung **Mehrfamilienhaus**

Energiebezugsfläche	A _{EB}	862	m ²
Heizperiode Anlagentechnik	t _{HP/IAT}	273	d/a
Ausnutzungsgrad Wärmegew.	η _G	0,91	

zentrale Warmwasserbereitung

		W1	W2	W3	Gesamt	
Bezeichnung Strang		horizontale Verteilung	vertikale Steigstränge	Stichleitungen		
Rohrleitungslänge Warmwasserverteilung	L _{W,V} (Projekt)	143,0	86,0	16,0		m
mittl. Wärmeverlustleistung pro m Rohrlänge	q _{L/W,V} (Toolbox Tab. 8)	6,0	6,0	2,4		W/m
Anteil innerh. der therm. Hülle	f _{BH} (Projekt)	0%	100%	100%	Σ W1 bis W3	
mittl. Wärmeverlustleistung Warmwasserverteilung	Q _{W,V} = L _{W,V} × q _{L/W,V}	858	516	38	1412	W
mittl. Wärmeverlustleistung Speicher	Q _{W,S} (Tab. 2-11)	<input type="checkbox"/> innerhalb therm. Hülle			125	W
mittl. Wärmeverlustleistung gesamt	Q _{W,V+S} = Σ Q _{W,V} + Q _{W,S}				1537	W
jährl. Betriebszeit zentrale WW-Bereitung	t _W (Projekt)				365	d/a
jährl. Wärmeverl. WW-Verteilung u. -Speicherung	Q _{W,V+S} × t _W × 0,024				13468	kWh/a
zusätzl. Verluste (Nahwärmenetz, Speicher etc.)	Berechnung auf separatem Blatt					kWh/a
flächenbezogene Verluste	q _{W,V+S} = (Q _{W,V+S} + Q _{W,zusätzlich}) / A _{EB}				15,6	kWh/(m ² a)

davon innerhalb der therm. Hülle als Heizwärmebeitrag verfügbar
 Σ W1 bis W3
 554 W
 273 d/a
 3632 kWh/a
 4,2 kWh/(m²a)

Heizwärmeverteilung und -speicherung

		H1	H2	H3	Gesamt	
Bezeichnung Strang		horizontale Verteilung	vertikale Steigstränge	Anbindeleitungen		
Rohrleitungslänge Heizwärmeverteilung	L _{H,V} (Toolbox Tab. 6, 7)	111,5	86,8	39,2		m
mittl. Wärmeverlustleistung pro m Rohrlänge	q _{L/H,V} (Toolbox Tab. 5)	4,8	0,7	0,4		W/m
Anteil innerh. der therm. Hülle	f _{BH} (Projekt)	0%	100%	100%	Σ H1 bis H3	
mittl. Wärmeverlustleistung Heizwärmeverteilung	Q _{H,V} = (1 - f _{BH}) × L _{H,V} × q _{L/H,V}	535	61	15	610	W
jährl. Wärmeverl. Heizwärmeverteilung	Q _{H,V} × t _{HP/IAT} × 0,024				4000	kWh/a
zusätzl. Verluste (Nahwärmenetz, Speicher etc.)	Berechnung auf separatem Blatt					kWh/a
flächenbezogene Verluste	q _{H,V+S} = (Q _{H,V+S} + Q _{H,zusätzlich}) / A _{EB}				4,6	kWh/(m ² a)

Wärmeverluste der Heizwärmeverteilung innerhalb der therm. Hülle zu 100% als Heizwärmebeitrag nutzbar (Standard bei heizlastabhängiger Netztemperatur)
 Σ H1 bis H3
 75 W
 493 kWh/a
 0,6 kWh/(m²a)

zusätzliche Heizwärmegutschrift

Beitrag Anlagentechnik zu inneren Wärmequellen	kWh/d	q _i W/m ²	t _{HP} d/a	kWh/(m ² a)	
Standardwert	q _{IAT} = 0,024	× 0,88	× 289	= 6,1	

als Heizwärmebeitrag tatsächlich verfügbar
 q_{IAT} = q_{IW} + q_{IH} = 4,8 kWh/(m²a)

zusätzliche Heizwärmegutschrift
 Δq_{HIG} = η_G × (q_{IAT} - q_{IAT}) = -1,2 kWh/(m²a)

Tab. 17.: Berechnung der Verteilverluste von Heizwärme und Warmwasser und des Brennstoffbedarfs (Fortsetzung)

jährlicher Wärmebedarf

Nutzenergiebedarf zentrale Warmwasserbereitung ohne sol. Deckungsanteil	Q_W	10,4 kWh/(m ² a)	(EFH: 13 / MFH:17)
+ Heizwärmebedarf	+ Q_H	+ 82,1 kWh/(m ² a)	(Blatt HW)
+ Wärmeverluste Warmwasser-Verteilung und -Speicherung	+ $Q_{W,V+S}$	+ 15,6 kWh/(m ² a)	
+ Wärmeverluste Heizwärme-Verteilung und -Speicherung	+ $Q_{H,V+S}$	+ 4,1 kWh/(m ² a)	
- zusätzliche Heizwärmegutschrift	- $\Delta Q_{H/G}$	+ 1,7 kWh/(m ² a)	
= effektiver jährlicher Wärmebedarf	= $Q_{H+W,eff}$	113,9 kWh/(m ² a)	

Wärmeerzeuger

Alternative Angaben

- Erzeugeraufwandszahl e_p 1,10
- Jahresnutzungsgrad η_a
- Detailberechnung

Bauart: Gas BW-Therne
Baujahr: 2001

e_p 1,10 aus Eingabe
 η_a 95,7% aus Aufwandszahl

Kesselleistung	Q_K	60,0 kW
Bereitschaftsverluste	Q_B	0,008 (Toolbox S. 48)
Kesselwirkungsgrad	η_K	99,0% (Toolbox S. 48)
Verschmutzungsfaktor	f_s	1,00 (Gas 1,0; Heizöl 0,98; feste Brennstoffe 0,97)
Betriebszeit	$t_{Betrieb}$	365 d/a

Auslastung $a = \frac{Q_{H+W,eff} \cdot A_{EB}}{Q_K \cdot t_{Betrieb}} = 0,19$

Jahresnutzungsgrad ohne nutzbare Gewinne (Standort außerhalb therm. Hülle) $\eta_{a,oG} = \frac{\eta_K \cdot f_s}{(1/a - 1) \cdot Q_B + 1} = 95,7\%$

Standort innerhalb thermischer Hülle:
nutzbare Wärmeabgabe des Kessels im Aufstellungsraum

$Q_{K,nutz} = 24 \frac{h}{d} \cdot t_{HP/AT} \cdot \frac{\eta_G \cdot Q_B \cdot Q_K}{A_{EB}} = 0,0 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$

effektiver Jahresnutzungsgrad $\eta_a = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{a,oG}} - \frac{Q_{K,nutz}}{Q_{H+W,eff}}} = 95,7\%$

Brennstoffbedarf

jährlicher Endenergiebedarf $Q_E = \frac{Q_{H+W,eff}}{kWh/(m^2 \cdot a)} / \frac{\eta_a}{95,7\%} = \frac{113,9}{kWh/(m^2 \cdot a)} \times \frac{e_p}{1,10} = 113,9 \times 1,10$

Einheit Brennstoff

- Liter Heizöl
- m³ Erdgas
- kWh

Energieinhalt Brennstoff (H_u) $A_{EB} = \frac{Q_E}{kWh/(m^2 \cdot a)} / \frac{H_u}{kWh/m^3} = \frac{125,3}{kWh/(m^2 \cdot a)} \times \frac{m^3}{10,4} = 862,3 m^2$

flächenbezogener Endenergiebedarf q_E

= 125,3 kWh/(m²a)

jährlicher Brennstoffbedarf

= 10.386 m³ Erdgas pro Jahr