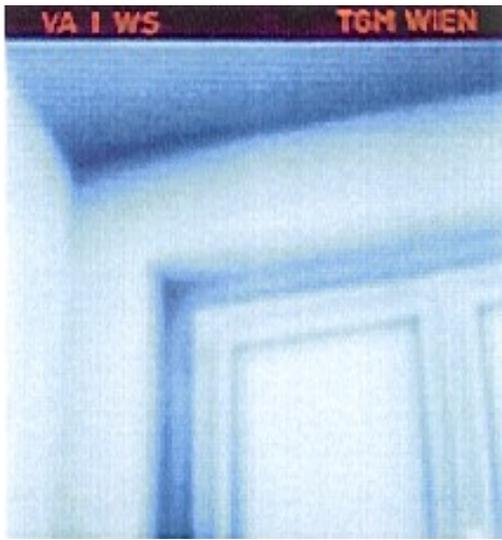


Einbau von Fenstern aus wärmetechnischer Sicht

©Prof. Mag. Ing. M. Stani, für ECOWORK GmbH



Einleitung

Die Verminderung der CO₂ Emissionen ist ein erklärtes Ziel der Industrienationen. Die Reduzierung des Primärenergieeinsatzes für Heizzwecke ist eine der bedeutendsten Einsparmöglichkeiten. Die Erhöhung des Wärmeschutzes von Gebäuden ist für neu zu errichtende Gebäude durch legislative Regelungen relativ einfach möglich, ebenso die technische Umsetzung. Für den Gebäudealtbestand, dieser stellt das weitaus höhere Einsparpotential dar, ist die wärmetechnische Sanierung weitaus schwieriger (Denkmalschutz, strukturierte Fassade ...).

Durch die Entwicklung in dem neuen und innovativen Bereich „Passivhaus“ stellt der Markt nunmehr wärmetechnisch sehr hochwertige Fenster, die „Passivhausfenster“, zu erschwinglichen Preisen zur Verfügung. Durch den Einbau derartiger Fenster könnte

der Wärmeschutz der Gebäudehülle des Altbestandes erhöht werden.

Dieser Themenkreis soll detailliert untersucht und die Ergebnisse dargestellt werden.

Fenstereinbau bedingt Wärmebrücke

Der Einbau eines Fensters in die (üblicherweise wesentlich dickere) Außenwand bewirkt wärmetechnisch eine Wärmebrücke. Hinzu kommt in der Praxis noch, dass die Anströmungsverhältnisse der inneren Raumluft die Situation noch verschärfen.

Das nachfolgende Bild zeigt die Temperaturverhältnisse der inneren Oberflächen von Außenwand und Fenster in der Praxis. Ein **Thermogramm** zeigt die durch ein bildgebendes Verfahren ermittelte Temperaturverteilung, genauer Strahlungstemperaturverteilung (diese kann aber für übliche Baustoffe in erster Näherung mit der Oberflächentemperatur gleichgesetzt werden). Die Helligkeit der Bildteile bzw. die Grauwerte des Bildes korrespondieren mit der (Strahlungs-) Temperatur der Oberfläche. Hellere Bereiche weisen höhere Temperaturen auf.

Es ist die Temperaturverteilung der inneren Oberfläche einer Raumecke oben und ein zweiflügeliges Fenster zu erkennen. Die dunklen Bereiche in der Fensternische seitlich und oben aber auch im Bereich der oberen Raumecke sind in erster Näherung durch die vorgenannte geometrische Wärmebrücke und die Anströmung bedingt.

Die **wärmetechnischen Berechnungen** berücksichtigen den **Einfluss der Wärmebrücken auf den (Heiz-) Wärmebedarf**.

In der vereinfachten Berechnung nach VORNORM ÖNORM B 8110-1 ist diese Problematik durch einen Zuschlag für den Einfluss der Wärmebrücke geregelt. Dieser Korrekturkoeffizient ψ beträgt für die Fensterleibung 0,20 W/(mK) falls ein Nachweis gemäß Teil 2, Blatt 2, geführt werden kann, sonst 0,30 W/(mK).

Die Versuchsanstalt hat vergleichende Rechnungen nach dem vereinfachten Verfahren und mit Hilfe eines Rechenprogramms nach der Methode der finiten Elemente durchgeführt, um die Aussagekraft der vereinfachten Berechnung für den Wärmebedarf und die Oberflächentemperaturverhältnisse zu untersuchen.

Die Berechnungen wurden an einer Kombination massive Außenwand und Fenster durchgeführt. Das Fenster wies eine Breite von 1,23 m und eine Dicke von 4 cm auf, der Wärmedurchgangskoeffizient U wurde mit 1,2 W/m²K (Standardfenster) bzw. 0,7 W/m²K („Passivhausfenster“) festgelegt. Das angrenzende Mauerwerk wies eine Breite von 1 m beidseits des Fensters, eine Dicke von 30 cm bzw. 60 cm und einen Wärmedurchgangskoeffizienten U von 1,2 W/m²K auf. Die U-Werte der einzelnen Bauteile wurden über ein äquivalentes λ für den jeweiligen Bauteil realisiert. Für den untersuchten Abschnitt ergibt sich nach der flächenanteiligen Mittelung ein mittlerer U-Wert von 1,20 W/m²K für die Kombination „1,2/1,2“ und von 1,00 W/m²K für die Kombination „1,2/0,7“.

Dieses Modell weist gegenüber der Realität geringfügige Unzulänglichkeiten auf, weil das Fenster als homogene Schicht mit 4 cm Dicke eingesetzt wurde.

In den nachstehenden Tabellen ist ein Auszug aus den Ergebnissen der Berechnungen zusammengestellt.

Tabelle 1: Einbau des Fensters in die 30 cm dicke Außenwand, mittig oder fluchtend(innen/außen).

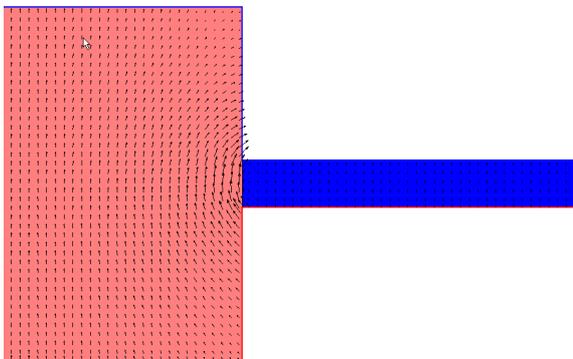
Anmerkung	Wanddicke (cm)	U Wand (W/m ² K)	U Fenster (W/m ² K)	res. U bzw. Δ% für Einbau	
				mittig	fluchtend
Standardausführung	30	1,2	1,2	1,33/11 %	1,43/19 %
--	30	1,2	0,7	1,12/12 %	1,23/23 %

Tabelle 2: Fenster in 30 cm Außenwand, mittig fluchtend(innen/außen), 5 bzw. 10 cm Wärmedämmung in Mauerleibung.

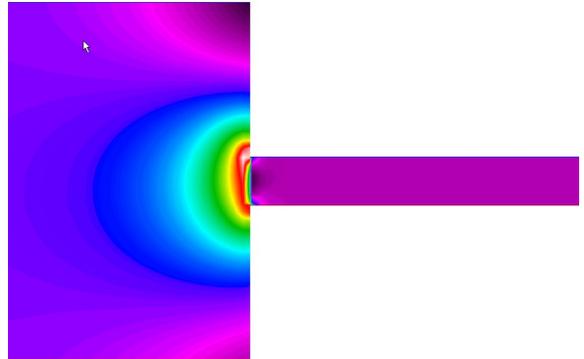
Wärmedämmung in der Leibung	Wanddicke (cm)	U Wand (W/m ² K)	U Fenster (W/m ² K)	res. U bzw. Δ% für Einbau	
				mittig	fluchtend
5 cm dick	30	1,2	1,2	1,24/3,3 %	1,26/5,0 %
--	30	1,2	0,7	1,03/3,0 %	1,05/5,0 %
10 cm dick	30	1,2	1,2	1,21/0,8 %	1,22/1,7 %
--	30	1,2	0,7	1,00/0,0 %	1,01/1,0 %

Erwartungsgemäß liegt der resultierende Wärmeschutz für die vorliegenden Flächenverhältnisse deutlich unter dem, der auf Grund der flächenanteiligen Mittelung zu erwarten wäre. Auch für übliche Fensterflächenanteile ist mit erhöhten Energieverlusten zu rechnen. Die Ergebnisse liegen für höhere Mauerdicken, wie sie im Altbau durchaus anzutreffen sind, noch ungünstiger.

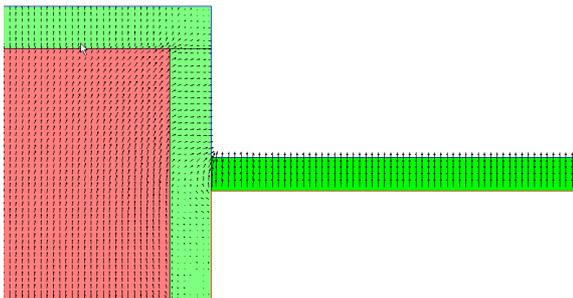
Grafik 1: Wärmestromvektoren bei 30 cm dicke Massivwand mit mittig eingebautem Fenster (U = 0,7 W/m²K), verstärkter Wärmefluss über Leibung



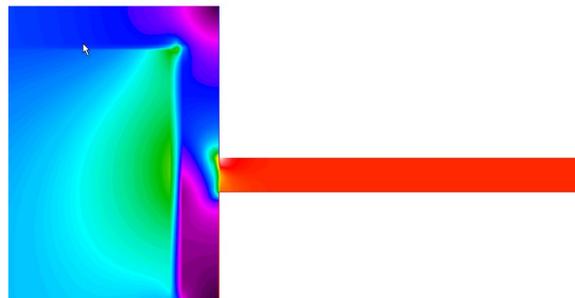
Grafik 2: thermofotografische Darstellung Grafik 1, dunkel/lila = geringe Wärmeflüsse rosa/rot = hohe Wärmeflüsse



Grafik 3: Wärmestromvektoren bei 30cm Massivwand mit mittig eingebautem Fenster (U=0,7 W/m²K) + 5cm Wärmeverbundsystem, 5cm EPS Leibungsverkleidung



Grafik 4: thermofotografische Darstellung Grafik 3



Oberflächentemperaturen und Kondensation

Der Einbau eines Fensters in eine Außenwand bewirkt als Folge der Wärmebrücke auch **Veränderungen im Hinblick auf eine eventuelle Oberflächenkondensation**. Dabei werden die Bedingungen durch eine zusätzliche Wärmedämmung der Leibung günstig beeinflusst.

Tabelle 1: Kondensationsgrenzfeuchten für 30cm Wanddicke; gem. ÖNORM B8110 Raumtemperatur 20°C, 65% relative Luftfeuchte

Dicke der Leibungsdämmung	U – Wert des Fensters (W/m ² K)	Kantentemperatur (°C)	Kondensation
keine Dämmung	0,7	12,2	JA
	1,2	12,3	JA
1cm	0,7	16,1	NEIN (75%/15,4)
	1,2	15,7	NEIN (75%/15,4)
2,5cm	0,7	16,8	NEIN (80%/16,4)
	1,2	16,3	NEIN (75%/15,4)
5cm	0,7	17,1	NEIN (80%/16,4)
	1,2	16,5	NEIN (80%/16,4)
10cm	0,7	17,2	NEIN (80%/16,4)
	1,2	16,6	NEIN (80%/16,4)
Kastenfenster	2,3	15,0	NEIN (70%/14,4)

Ersichtlich und erwartungsgemäß bietet eine besonders wärmegeämmte Fensternische neben Energieeinsparung und höherem Komfort durch günstig höhere Oberflächentemperaturen im Fensterbereich einen **Sicherheitspolster gegen Schimmelbefall**. Dies ist im Hinblick auf dichte Fenster und eine dichte Gebäudehülle von besonderer Bedeutung.

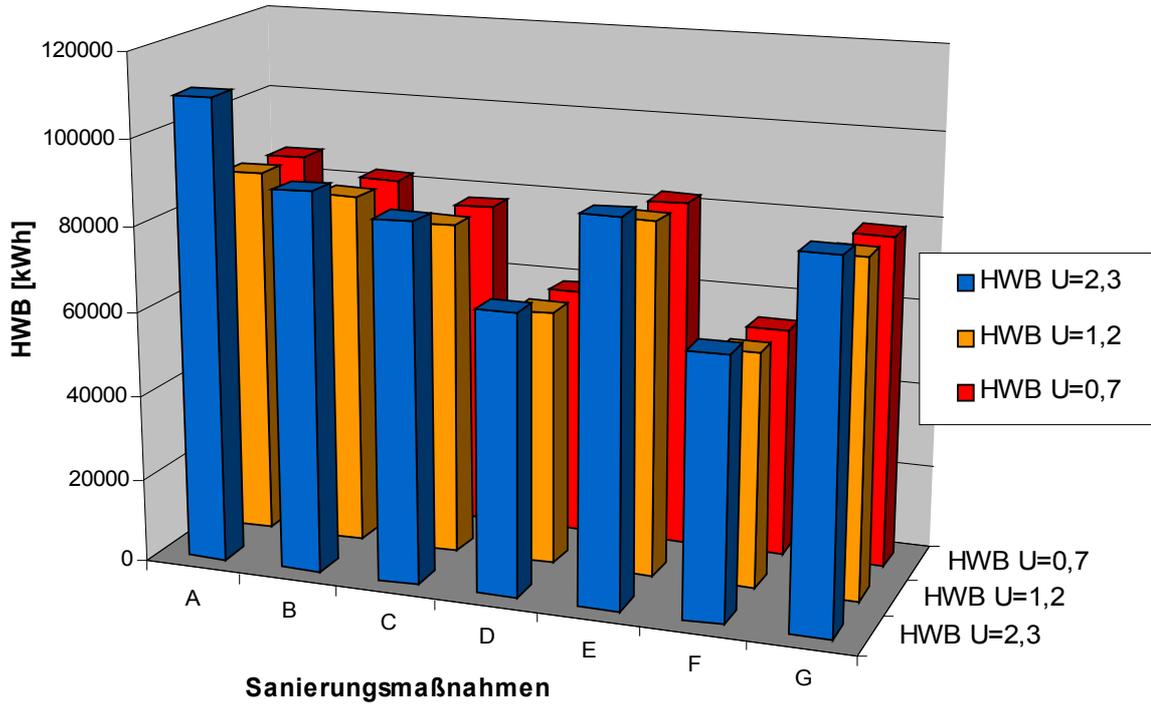
Auswirkung auf den Wärmebedarf

In den nachstehenden Diagrammen und Tabellen sind die Ergebnisse der Berechnungen des HWB, der CO₂ Emission, der jährlichen Heizkosten und der Transmissionsverluste für unterschiedliche Varianten des Wärmeschutzes zusammengestellt. Die Berechnungen wurden durch Frau Edith Marczy in Zusammenarbeit mit dem Büro Roland Cornelius mit dem Softwarepaket ECOTECH durchgeführt. Den Berechnungen wurden die folgenden Annahmen zugrunde: Gebäude 3 Stockwerke, Gründerzeit Altbau mit Holzkastenfenster mit einfachverglasten Doppelflügel. Wärmeschutzverbesserungen Im Rahmen der wärmetechnischen Sanierung werden unterschiedliche Maßnahmen und deren Auswirkung auf die oben genannten Faktoren berechnet. Ausgangspunkt ist der Altbau ohne Verbesserungen. Als erste Maßnahme wurden die Fenster mit hochwirksamen Dichtungen versehen. Die Wärmedämmung der obersten Geschosdecke, ein Austausch der Fenster (Fenster mit einem U-Wert von 1,2 [W/m²K] bzw. 0,7 [W/m²K] mit und ohne Dämmung der Fensterleibung), die zusätzliche Wärmedämmung der Außenwand und der Einbau einer neuen Heizungsanlage sind weitere Varianten.

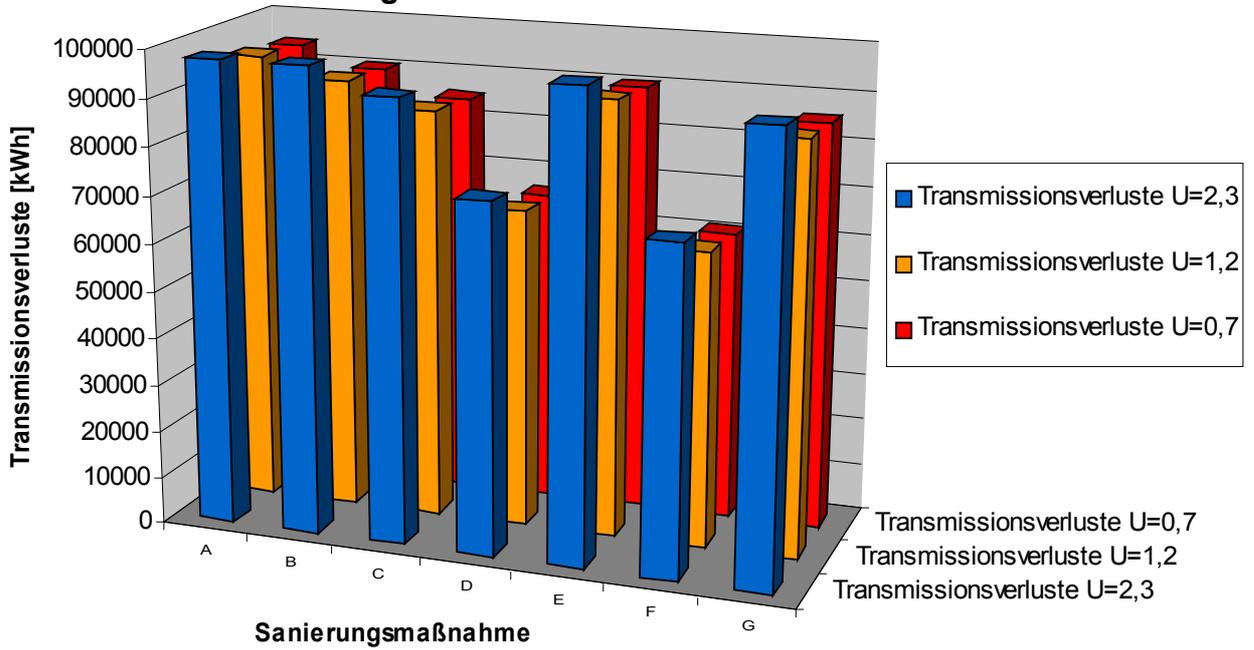
Untersuchte Varianten:

- A) Ausgangslage: Einzelofenheizung und Holzkastenfenster mit einfachverglasten Doppelflügel
- B) wie vor, jedoch Fensterfälze gedichtet
- C) wie vor, jedoch zusätzlich oberste Geschosdecke gedämmt
- D) wie B), jedoch zusätzlich Außenwand gedämmt
- E) wie B), jedoch zusätzlich neue Heizanlage
- F) alle vorgenannten Maßnahmen zusammen
- G) wie C), jedoch zusätzlich neue Heizungsanlage

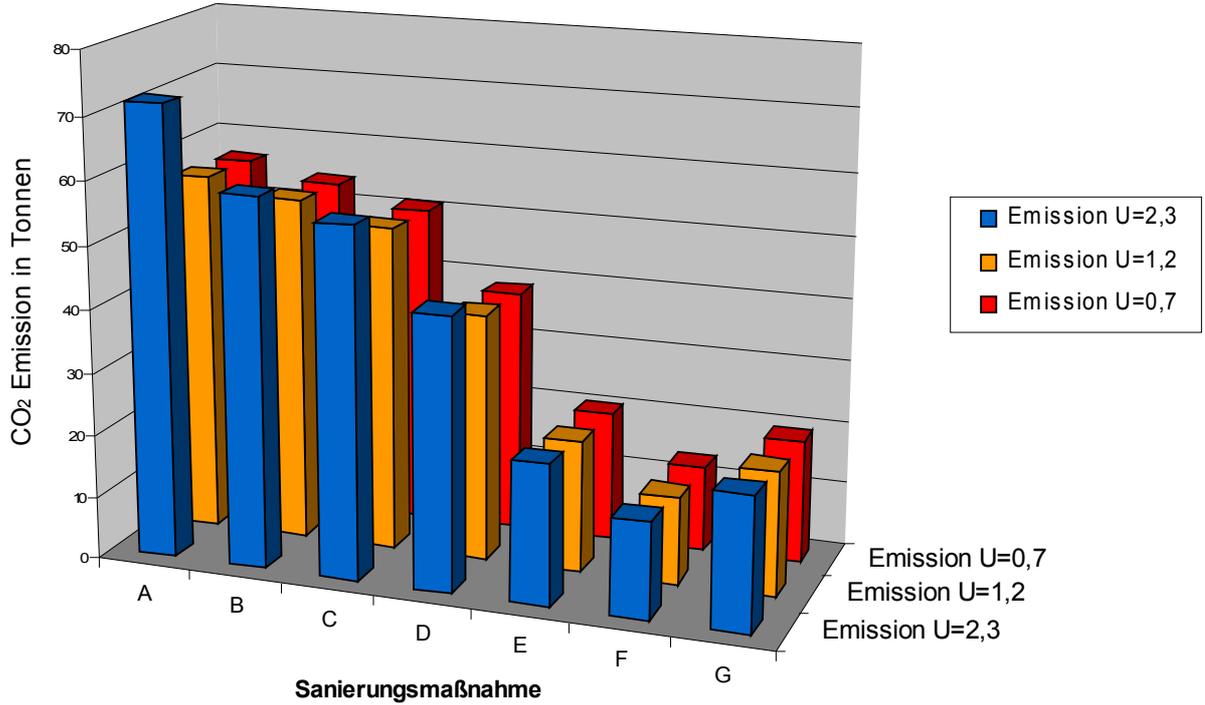
Vergleich des HWB



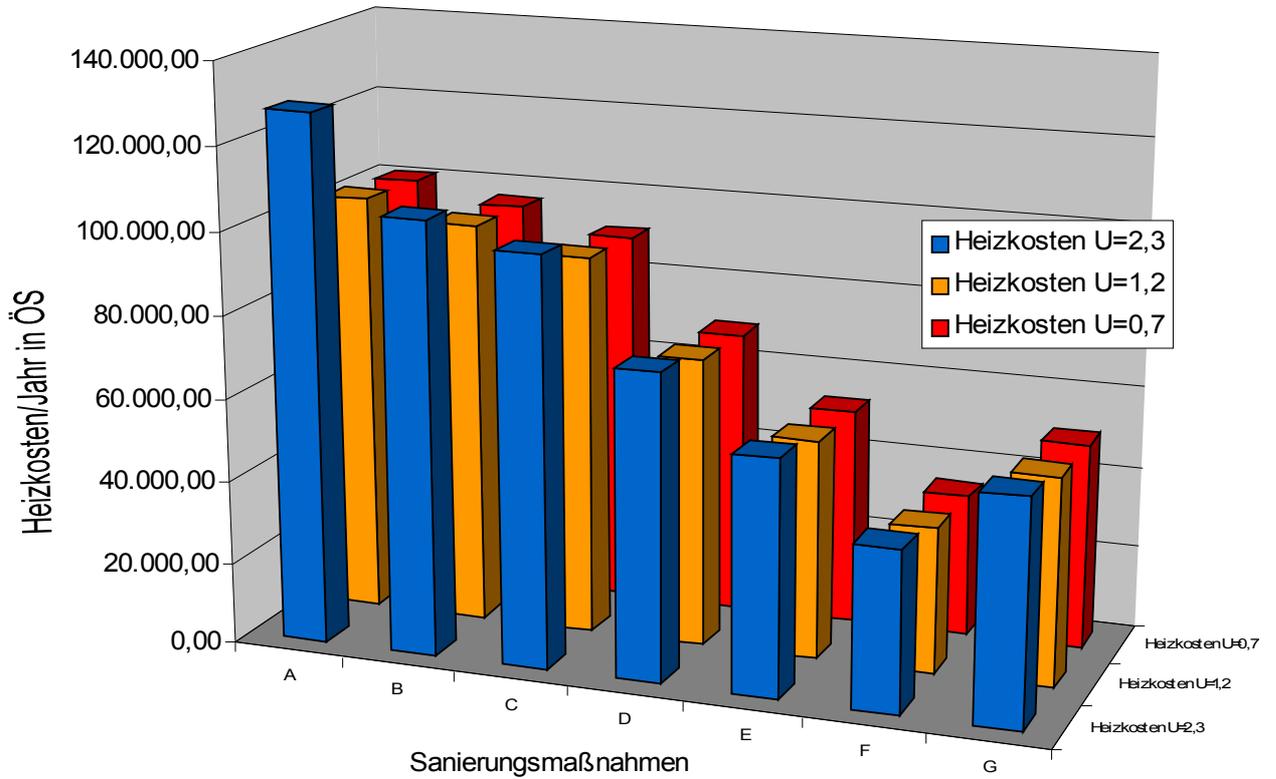
Vergleich der Transmissionsverluste



Vergleich der jährlichen CO₂ Emission



Vergleich der jährlichen Heizkosten



Vergleich unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen				U=2,3	U=1,2	U=0,7
	U=2,3	U=1,2	U=0,7	Differenz in % zum Bezugswerte		
Variante HWB				Bezugswert HWB = 109403 kWh		
A	109403	87261	86275	0,00	20,24	21,14
B	89672	83502	82468	18,04	23,67	24,62
C	84824	78667	77636	22,47	28,09	29,04
D	66210	60036	58984	39,48	45,12	46,09
E	89672	83502	82468	18,04	23,67	24,62
F	61486	55371	54332	43,80	49,39	50,34
G	85424,4	79350	78568	21,92	27,47	28,18
Variante Emission				Bezugswert CO₂ = 71,72 Tonnen/Jahr		
A	71,72	57,2	56,56	0,00	20,25	21,14
B	58,78	54,74	54,06	18,04	23,68	24,62
C	55,66	51,57	50,9	22,39	28,10	29,03
D	43,4	39,35	38,66	39,49	45,13	46,10
E	22,36	20,83	20,56	68,82	70,96	71,33
F	15,34	13,81	13,55	78,61	80,74	81,11
G	21,305	19,791	19,596	70,29	72,41	72,68
Variante Heizkosten				Bezugswert Heizkosten = 127813 ÖS/Jahr		
A	127.813,00	101.945,00	100.793,00	0,00	20,24	21,14
B	104.761,00	97.553,00	96.345,00	18,04	23,68	24,62
C	99.098,00	91.905,00	90.700,00	22,47	28,09	29,04
D	74.158,00	70.139,00	68.909,00	41,98	45,12	46,09
E	57.105,00	53.176,00	52.517,00	55,32	58,40	58,91
F	39.156,00	35.262,00	34.600,00	69,36	72,41	72,93
G	54.400,00	50.532,00	50.034,00	57,44	60,46	60,85
Variante Transmissions-verluste				Bezugswert Transmissionsverluste = 97665 kWh		
A	97665	95195	94183	0,00	2,53	3,57
B	97665	91340	90278	0,00	6,48	7,56
C	92696	86374	85314	5,09	11,56	12,65
D	73511	67065	65959	24,73	31,33	32,46
E	97665	91340	90278	0,00	6,48	7,56
F	68585	62142	61038	29,78	36,37	37,50
G	92601	86374	85571	5,19	11,56	12,38

Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der Berechnungen kann folgendes abgeleitet werden:

- Der resultierende Wärmeschutz von Fenster und Außenwand liegt deutlich unter dem Wert, der allein auf Grund der flächenanteiligen Mittelung zu erwarten ist. Die Anwendung des Korrekturkoeffizienten ψ gemäß ÖNORM B 8110 liefert erwartungsgemäß Werte auf der sicheren Seite.
- Die **Einbauposition des Fensters ist von Bedeutung**.
- Die **wärmetechnische Verbesserung der Leibung** bringt auch bei geringeren Dämmstoffdicken eine deutliche **Erhöhung der Sicherheit vor Kondensation**.
- Die wärmetechnische Verbesserung der Mauerleibung ist jedenfalls erforderlich. Dies auch im Hinblick auf den Komfort, die Vermeidung des Gefühles von „Zugerscheinungen“ durch das Strahlungsdefizit mit Oberflächen mit zu geringen Temperaturen.
- Der Einbau von wärmetechnisch hochwertigen Fenstern als einzige Verbesserungsmaßnahme erscheint aus ökonomischen Gründen nicht zweckmäßig. Im Zusammenwirken mit allen anderen Maßnahmen zur Reduzierung des Energieaufwandes für Beheizung kann der Einbau ökonomisch sinnvoll sein.
- Die günstige Beeinflussung der Behaglichkeit, das verminderte Risiko eines Schimmelbefalls auch unter ungünstigen Bedingungen und die Verringerung der Schadstoffemissionen sind wesentliche Argumente für den Einsatz wärmetechnisch hochwertiger Fenster. Im Hinblick auf die Anforderungen an die Dichtheit des Gebäudes sind die vorgenannten Aspekte von besonderer Bedeutung.
- Aus den Berechnungen kann abgeleitet werden, dass mit den im Altbestand üblicherweise umsetzbaren Verbesserungsmaßnahmen (Dämmung der obersten Geschossdecke, Erneuerung der Heizungsanlage und Einbau hochwertiger Fenster) eine Reduzierung des Energieaufwandes um etwa 1/3 möglich ist. Damit kann durch diese Maßnahmen eine deutliche Verminderung der CO₂ Emissionen erzielt und ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung des Kyoto Zieles erbracht werden.