



DIPLOMARBEIT
Master Thesis

**Vergleich von Verbrauchsdaten mit Bedarfsberechnungen für den
Energieeinsatz bei Einfamilienhäusern**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar
und
Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic

E 206

Institut für Hochbau und Technologie
Zentrum für Bauphysik und Bauakustik

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Markus Dörn

Matr. Nr.: 0425626

Hauptstraße 25
6824 Schlins

Wien, am

Danksagung

Danken möchte ich

meinem Betreuer Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar.

allen Mitarbeitern des Forschungsbereiches für Bauphysik und Schallschutz.

Gebhard Bertsch.

den Bewohnern der untersuchten Gebäude.

meinen Eltern.

und all meinen Freunden.

Kurzfassung

Vergleich von Verbrauchsdaten mit Bedarfsberechnungen für den Energieeinsatz bei Einfamilienhäusern

Beim Erstellen von Energieausweisen für Einfamilienhäuser sind immer wieder deutliche Unterschiede zwischen Rechenergebnis und tatsächlichem Energieverbrauch erkennbar. Im Zuge von Sanierungsarbeiten wurden drei Einfamilienhäuser (Baujahr 1957, 1965 und 1987) im Vorarlberger Oberland über mehrere Jahre hinweg genauer betrachtet. Dank der genauen Aufzeichnungen der Bewohner über den Energieverbrauch vor und nach der Sanierung konnte hier ein Vergleich mit der Bedarfsberechnung gezogen werden.

Als Grundlage der Berechnungen dienen die Klimadaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) der letzten Jahre, Pläne und Beschreibungen der Gebäude und eine angepasstes Nutzerverhalten, welches durch eine gezielte Befragung der Bewohner erhoben wurde.

Die standardisierte Bedarfsberechnung des Energieausweises liegt bei den untersuchten Gebäude etwa 35 % über den tatsächlichen Verbrauchsdaten. Durch Anpassen von Klimamodell und Nutzungsprofil kann diese Differenz etwas verringert werden. Wesentlich dabei ist, welche Räume tatsächlich benutzt und beheizt werden.

Zusätzlich beschäftigt sich die Diplomarbeit mit der Fehlerfortpflanzung von Unsicherheiten in den Eingangsdaten und eventuell auftretende Reboudefekten.

Abstract

A comparison of consumption data including the calculation of the energy use in detached houses

Sometimes an energy certification for single family homes shows a significant difference between the calculation of energy use and the actual energy consumption. In the course of renovation work, three single-family homes (built in 1957, 1965 and 1987) in the Vorarlberger Oberland were examined more closely for several years during the course of restoration work. Based on accurate records done by the inhabitants about the energy consumption it was possible to draw an analogy between the calculation of energy use for space heating and about the energy consumption, before and after the restoration.

The basis for the calculations were plans and descriptions of buildings and a custom user behaviour, which was raised by a survey of the residents as well as the climate data of the Central Institute for Meteorology and Geodynamics (ZAMG) over the past years.

The calculation of the energy certification of the examined buildings is about 35% higher than the actual consumption data. The calculation is improved by adapting climate model and usage profile. Which room is actually used and heated is important for the calculation of energy consumption.

Besides, the thesis deals with the error propagation of uncertainties in the input data and possible rebound effects.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Berechnungsgrundlage.....	3
2.1	Klimadaten.....	3
2.1.1	Monatsmitteltemperaturen	3
2.1.2	Mittlere Monatssumme der Globalstrahlung	4
2.2	Transmissionswärmeverluste	5
2.2.1	Pufferraumberührende Bauteile.....	7
2.2.2	Erdberührte Bauteile	9
2.2.3	Wärmebrücken.....	9
2.3	Lüftungswärmeverluste.....	10
2.3.1	Fugenlüftung.....	12
2.3.2	Fensterluftwechsel.....	14
2.3.3	Einseitige Fensterlüftung	18
2.3.4	Querlüftung	19
2.4	Innere Gewinne.....	20
2.5	Nutzerverhalten.....	20
2.6	Wärmespeicherung.....	22
2.7	Bilanzierung	22
2.7.1	Heizwärmebedarf.....	22
2.7.2	Heiztechnikenergiebedarf	24
2.7.3	Dynamische Parameter	25
2.8	Heizwert von Brennstoffen.....	27
3	Befragung und Datenbeschaffung	27
3.1	Gebäudedaten	28
3.2	Nutzerverhalten und Verbrauchsdaten	28
4	Auswertung der Versuchsgebäude.....	30

4.1	Haus 1	30
4.1.1	Gebäude	30
4.1.2	Sanierungsstufen	36
4.1.3	Verbrauchsdaten.....	36
4.1.4	Nutzerverhalten.....	37
4.1.5	Berechnung und Vergleich mit der Wirklichkeit.....	38
4.1.6	Interpretation der Ergebnisse.....	41
4.2	Haus 2	42
4.2.1	Gebäude	42
4.2.2	Sanierungsstufen	47
4.2.3	Verbrauchsdaten.....	47
4.2.4	Nutzerverhalten.....	48
4.2.5	Berechnung und Vergleich mit der Wirklichkeit.....	49
4.2.6	Interpretation der Ergebnisse.....	53
4.3	Haus 3	55
4.3.1	Gebäude	55
4.3.2	Sanierungsstufen	59
4.3.3	Verbrauchsdaten.....	59
4.3.4	Nutzerverhalten.....	60
4.3.5	Berechnung und Vergleich mit der Wirklichkeit.....	61
4.3.6	Interpretation der Ergebnisse.....	66
5	Parameterstudie	67
6	Zusammenfassung	70
7	Literaturverzeichnis.....	72
Anhang A	Fragebogen	75
A.1	Allgemeine Fragen.....	75
A.2	Nutzerverhalten je Raum	78

Anhang B	Haus 1	79
B.1	Klima.....	79
B.2	Wandaufbauten.....	80
B.3	Lüftungsprofil	83
Anhang C	Haus 2	84
C.1	Klima.....	84
C.2	Wandaufbauten.....	85
C.3	Lüftungsprofil	87
Anhang D	Haus 3	88
D.1	Klima.....	88
D.2	Wandaufbauten.....	89
D.3	Lüftungsprofil	91

1 Einleitung

Beim Erstellen von Energieausweisen für Einfamilienhäuser sind immer wieder deutliche Unterschiede zwischen Rechenergebnis und tatsächlichem Energieverbrauch erkennbar. Mögliche Ursachen für diese Abweichungen sind sehr vielfältig und reichen von den Klimadaten, den Eigenschaften des Gebäudes über das Nutzerverhalten bis hin zu Ungenauigkeiten im Rechenverfahren.

Im Zuge von Sanierungsarbeiten wurden drei Einfamilienhäuser (Baujahr 1957, 1965 und 1987) im Vorarlberger Oberland über mehrere Jahre hinweg genauer betrachtet. Dank der genauen Aufzeichnungen der Bewohner über den Energieverbrauch vor und nach der Sanierung konnte hier ein Vergleich mit der Bedarfsberechnung gezogen werden.

Als Grundlage für die Gebäudedaten wurden die Informationen aus den vorher erstellten Energieausweisen und eine örtliche Besichtigung herangezogen. Das Erheben des Nutzerverhaltens erfolgte mittels Fragebogens und einem Interview der Bewohner.

Für die Bedarfsberechnungen wurde das Monatsbilanzverfahren gewählt. Die Genauigkeit dieses Rechenverfahren hängt im Wesentlichen von der Qualität der Eingangsdaten ab. In bestehenden Gebäuden gestaltet sich die Datenbeschaffung jedoch oft als sehr schwierig. Genaue Pläne und Beschreibungen der Aufbauten sind bei alten bestehenden Gebäuden oft nicht vorhanden. Eine gute Kenntnis der damaligen Bautradition ist deshalb von großer Bedeutung.

Speziell bei einem hohen Wärmeeintrag und geringen Wärmeverlusten errechnet sich der Heizwärmebedarf aus der Differenz zweier ca. gleich großer Zahlen. In dieser Situation pflanzen sich Ungenauigkeiten bei den Eingangsdaten besonders stark in der Berechnung fort, was zu einem sehr großen Unterschied im Vergleich zwischen Berechnung und dem tatsächlichen Energieverbrauch führen kann.

In der Praxis lässt sich beobachten, dass der tatsächliche energetische Einspareffekt von durchgeführten Sanierungen in der Regel signifikant unter den erwarteten, vorausgerechneten Werten liegt. In extremen Fällen ist der energetische - oder allgemeiner - der Effekt der Treibhausgasemissionsreduktion sogar negativ, das heißt, die sanierten Projekte weisen nach der Sanierung höhere Verbrauchs- bzw. Emissionswerte auf, als im Ausgangszustand. Die Ursachen sind dabei vielschichtig und können zumeist auf eine Steigerung des Energiedienstleistungskonsums durch veränderte ökonomische, strukturelle aber auch technische Randbedingungen nach einer Sanierung zurückgeführt werden. [BIE05] Bei den Berechnungen des Energiebedarfs wurde durch die gezielte Befragung der Bewohner bezüglich ihres Nutzerverhaltens vor und nach den Sanierungsarbeiten versucht, diese Reboundeffekte zu berücksichtigen.

In dieser Arbeit wird geprüft ob, trotz der enormen Anzahl an unsicheren Angaben, Annahmen und Vereinfachungen, ein guter Vergleich zwischen der Bedarfsberechnung und dem tatsächlichen Verbrauchsdaten eines Einfamilienhauses möglich ist.

2 Berechnungsgrundlage

2.1 Klimadaten

2.1.1 Monatsmitteltemperaturen

In der ÖNORM B 8110-5 wird Österreich in sieben Klimaregionen geteilt und in Form eines Dreischichten-Regressionsmodelles die Monatsmitteltemperatur, in Abhängigkeit der Seehöhe H [m.ü.A.] berechnet. Grundlage für dieses Klimamodell sind die Klimadaten der Jahre 1951 bis 1980.

$$\theta_e = a + b \cdot \frac{H}{100}$$

- θ_e Monatsmitteltemperatur der Außenluft in °C
- a Koeffizient in °C
- b Koeffizient in °C/100 m
- H Seehöhe in Meter über Adria in m.ü.A.

Die Testgebäude stehen in der Klimaregion W und befinden sich unterhalb von 750m Seehöhe. Die benötigten Koeffizienten können aus Tabelle 1: Koeffizienten, 3-Schicht Regressionsmodell Region W entnommen werden:

Tabelle 1: Koeffizienten, 3-Schicht Regressionsmodell Region W [ÖNO075]

	a	b
	[°C]	[°C/100m]
Jän	0,647	-0,423
Feb	2,534	-0,458
Mär	6,387	-0,521
Apr	10,969	-0,613
Mai	15,352	-0,602
Jun	18,487	-0,61
Jul	20,503	-0,597
Aug	19,808	-0,507
Sep	16,228	-0,495
Okt	10,959	-0,413
Nov	5,814	-0,485
Dez	2,364	-0,566

Die Monatsmitteltemperaturen der angepassten Berechnung für die Jahre 2001 bis 2011 stammen aus einer Messstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Feldkirch. Diese liegt auf einer Höhe von 439 m und ist 6 km von Haus 1, 16 km von Haus 2 und 18 km von Haus 3 entfernt. Der Höhenunterschied zwischen Messstation und Standorte der Testgebäude wird mit Hilfe des Koeffizienten b aus Tabelle 1 ausgeglichen. Für die zukünftigen Monate im Jahr 2011 wurde der Mittelwert über die Jahre 2001 bis 2010 gebildet.

$$\theta_e = \theta_{e,Feldkirch} + b \cdot \frac{\Delta H}{100}$$

θ_e	Monatsmitteltemperatur der Außenluft in °C
$\theta_{e,Feldkirch}$	Monatsmitteltemperatur der Außenluft in Feldkirch in °C [Zen11]
b	Koeffizient aus Tabelle 1: Koeffizienten, 3-Schicht Regressionsmodell Region W in °C/100 m
ΔH	Höhenunterschied zwischen Messstation in Feldkirch und Testgebäude

2.1.2 Mittlere Monatssumme der Globalstrahlung

Die Berechnung der mittleren Monatssummen der Globalstrahlung laut ÖNORM B 8110-5 auf die horizontale Fläche erfolgt gemäß folgender Regressionsformel und den Koeffizienten laut Tabelle 2.

$$I_S = a_2 \cdot \left(\frac{H}{100}\right)^2 + a_1 \cdot \frac{H}{100} + a_0$$

I_S	Mittlere Monatssumme der Globalstrahlung in W/m ²
a_n	Koeffizienten Regressionsmodell – West
H	Seehöhe in Meter über Adria in m.ü.A.

Tabelle 2: Koeffizienten, Regressionsmodell Region W [ÖNO075]

	a2	a1	a0
Jan	-5,074E-6	2,180E-2	22,62
Feb	-7,194E-6	3,070E-2	38,33
Mär	-8,484E-6	3,839E-2	68,46
Apr	-1,811E-6	1,944E-2	105,31
Mai	3,621E-6	-1,192E-4	145,03
Jun	7,657E-6	-1,532E-2	151,47
Jul	5,811E-6	-1,491E-2	161,18
Aug	-1,250E-6	7,108E-3	134,67
Sep	-3,579E-6	2,561E-2	91,19
Okt	-6,989E-6	2,975E-2	51,12
Nov	-7,231E-6	2,960E-2	22,46
Dez	-1,637E-6	1,388E-2	17,80

Die Umrechnung auf beliebig geneigte und beliebig orientierte Flächen ergibt sich durch Multiplikation mit den Transpositionsfaktoren. [PHÖ07]

Die mittlere Monatssumme der Globalstrahlung für die angepasste Berechnung berechnet sich aus den Daten eines Testreferenzjahres für Bregenz und der monatlichen Sonnenscheindauer in % des langjährigen Mittelwertes aus der Datenbank der ZAMG (Messstation in Feldkirch). Die Aufzeichnungen der Sonnenscheindauer reichen nur bis ins Jahr 2008 zurück, für die Jahre 2001 bis Ende 2007 wird der Faktor eins verwendet. [Zen11]

Das Testreferenzjahr aus Bregenz (Seehöhe 424 m) wurde aus folgenden Monaten zusammengestellt:

J: 2001, F: 1994, M: 1999, A: 1996, M: 2003, J: 1994, J:
2004, A: 2001, S: 1993, O: 1999, N: 1997, D: 1997

Darin enthalten sind stündlichen Aufzeichnungen über Außentemperatur, Relativer Luftfeuchte, Horizontaler Strahlung, Diffuser Strahlung, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag und Luftdruck.

2.2 Transmissionswärmeverluste

Die Transmissionsverluste oder –gewinne werden durch die Bauteilaufbauten, die Geometrie und die Temperatur- und Strömungsverhältnisse in den angrenzenden Bereichen bestimmt. Dabei errechnet sich die Wärmemenge mit folgender Gleichung. [RIC10]

$$Q_T = L_T \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t$$

Q_T	monatlicher Transmissionswärmeverlust in kWh
L_T	Transmissionsleitwert in kW/K
θ_i	Monatsmittelwert der Innentemperatur in °C
θ_e	Monatsmittelwert der Außentemperatur in °C
t	Zeitdauer des Monats in h

Bzw. aus der Summe der Transmissionswärmeverluste der einzelnen Bauteile

$$Q_T = \sum_i L_{i,T} \cdot (\theta_{i,i} - \theta_{i,e}) \cdot t$$

Der Transmissionsleitwert L gibt den Wärmestrom an, der bei einem Kelvin Temperaturdifferenz auftritt. Die Berechnung erfolgt über eine Aufsummierung der Flächen, die direkt an die Außenluft grenzen, Flächen, die über Pufferräume an die Außenluft grenzen, erdberührte Bauteile, linienförmige und punktförmige Wärmebrücken. [RIC10]

$$L_T = L_e + L_u + L_g + L_\psi + L_\chi = \sum_i f_{i,h} \cdot A_i \cdot U_i + L_\psi + L_\chi$$

L_e	Leitwert der außenluftberührten Konstruktionen in W/K
L_u	Leitwert über unkonditionierte Räume in W/K
L_g	Leitwert der erdberührten Konstruktionen in W/K
L_ψ	Leitwertzuschlag für zweidimensionale Wärmebrücken in W/K
L_λ	Leitwertzuschlag für dreidimensionale Wärmebrücken in W/K
$f_{i,h}$	Temperaturkorrekturfaktor
A_i	Bauteilfläche in m ²
U_i	Wärmedurchgangskoeffizient in W/m ² K

Bei Außenluft berührenden Bauteilen wird der Temperaturkorrekturfaktor $f_{i,h} = 1$ gesetzt.

Um mögliche Abweichungen in den Aufbauten oder in den Materialeigenschaften abzufedern, werden im Zuge der Sensitivitätsanalyse die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bestandsbauteile um $\pm 10\%$ variiert.

Der Transmissionswärmeverlust der Fenster wird aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens, dem Beitrag des Abstandhalters und dem Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung bestimmt.

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + l \cdot \psi + A_g \cdot U_g}{A_w}$$

U_w	U-Wert des Fensters in W/m ² K
A_f	Fläche des Rahmens in m ²
U_f	U-Wert des Rahmens in W/m ² K
l	Länge des Randverbundes Verglasung/Rahmen in m
ψ	längenbezogener Leitwert für den Abstandhalter in W/mK
A_g	Fläche der Verglasung in m ²
U_g	U-Wert der Verglasung in W/m ² K
A_w	Fläche des Fensters ($A_w = A_f + A_g$) in m ²

2.2.1 Pufferraumberührende Bauteile

Unter Pufferraum versteht man eine unkonditionierte Zone, die keine Heizung oder Kühlung hat. In der Regel sind das Wintergärten, Atrien, Stiegenhäuser, oder Keller. Der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient L_u , zwischen einem konditionierten Raum und der Außenumgebung durch unkonditionierte Räume wird nach folgender Gleichung berechnet: [RIC10]

$$L_u = L_{i,u} \cdot f_{i,h}$$

Temperaturkorrekturfaktoren für die vereinfachte Berechnung der Wärmeverluste nach ÖNORM B 8110–6:

Tabelle 3: Temperaturkorrekturfaktoren puffer-raumberührter Bauteile [ÖNO076]

Bauteile, die an unconditionierte Räume grenzen	f_{i,h}
Wand zu unconditioniertem geschlossenem Dachraum	0,90
Decke zu unconditioniertem geschlossenem Dachraum	0,90
Wand zu geschlossener Tiefgarage	0,80
Decke zu geschlossener Tiefgarage	0,80
Wand zu unconditioniertem Wintergarten $U > 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,80
Wand zu unconditioniertem Wintergarten $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,70
Wand zu unconditioniertem Wintergarten $U \leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,60
Wand zu unconditioniertem ungedämmtem Keller	0,70
Decke zu unconditioniertem ungedämmtem Keller	0,70
Wand zu unconditioniertem gedämmtem Keller	0,50
Decke zu unconditioniertem gedämmtem Keller	0,50
Wand zu unconditioniertem außenluftexponiertem Stiegenhaus	0,70
Wand zu Innenhof mit Glasüberdachung (Atrium)	0,70
Wand zu sonstigem Pufferaum	0,70
Decke zu sonstigem Pufferaum nach oben	0,70
Decke zu sonstigem Pufferaum nach unten	0,70

Eine genauere Berechnung der Wärmeverluste kann mithilfe der Rechenregeln für Leitwerte ermittelt werden: [ENI071]

$$L_u = L_{iu} \cdot f = L_{iu} \frac{L_{ue}}{L_{iu} + L_{ue}}$$

- L_u Leitwert über unconditionierte Konstruktionen in W/K
- L_{iu} direkter Leitwert zwischen conditioniertem und unconditioniertem Raum in W/K
- L_{ue} spezifischer Leitwert zwischen unconditioniertem Raum und Außenumgebung in W/K
- f Temperaturkorrekturfaktor

L_{ue} und L_{iu} berücksichtigen den Transmissions- und den Lüftungswärmedurchgang.

Die Berechnung der Temperatur in einem Pufferraum ergibt sich aus der Wärmebilanz unter stationären Bedingungen nach Gleichung: [ENI071]

$$\theta_u = \frac{\phi + \theta_i L_{iu} + \theta_e L_{ue}}{L_{iu} + L_{ue}}$$

θ Monatsmitteltemperatur in °C

ϕ mittlerer Wärmestrom, der in den unkonditionierten Raum gelangt (z.B. solare Wärmegewinn) in W

L Leitwert in W/K

Index i steht für Innen, Index e für Außen und Index u für Unkonditioniert.

2.2.2 Erdberührte Bauteile

Die Ermittlung des Leitwertes für bodenberührte Bauteile kann nach einem vereinfachten Verfahren nach ÖNORM B 8110-6 erfolgen. Die Norm enthält zusätzlich ein noch vereinfachteres Verfahren mit Temperaturkorrekturfaktoren.

$$L_g = L_{i,g} \cdot f_{i,h}$$

Tabelle 4: Temperaturkorrekturfaktoren erdberührter Bauteile [ÖNO076]

Bodenberührte Bauteile	f_{i,h}
erdanliegende Wand (≤ 1,5 m unter Erdoberfläche) 0,80	0,80
erdanliegender Fußboden (≤ 1,5 m unter Erdoberfläche) 0,70	0,70
erdanliegende Wand (>1,5 m unter Erdoberfläche) 0,60	0,60
erdanliegender Fußboden (>1,5 m unter Erdoberfläche) 0,50	0,50

Diese vereinfachten Verfahren gelten nur für Konstruktionen, die den aktuellen Mindestwärmeschutz nach den Baugesetzen erfüllen. Für erdberührte Bauteile der Testgebäude, die weit unter diesem Standard sind, wird der Wärmeverlust überschätzt. Ein wesentlich genaueres Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung der wärmedämmenden und –speichernden Eigenschaften des Erdbodens ist jenes nach ÖNORM EN 13370 [RIC10].

2.2.3 Wärmebrücken

Unter Wärmebrücken versteht man Bauteilbereiche, in denen der Wärmestrom nicht mit Hilfe einer eindimensionalen Berechnung aus einem Schichtenaufbau ermittelt werden kann. Gekennzeichnet sind Wärmebrücken durch erhöhte

Wärmeflussdichten, d.h. Änderung des Wärmestroms, niedrige Wandinnentemperaturen und erhöhte Wandaußentemperaturen [RIC10].

Eine pauschale Abschätzung der Leitwertzuschläge für die Wärmebrücken findet man in der ÖNORM B 8110-6:

$$L_{\psi} + L_{\lambda} = 0,2 \cdot \left(0,75 - \frac{\sum_i f_{i,h} \cdot A_i \cdot U_i}{\sum_i A_i} \right) \cdot \sum_i f_{i,h} \cdot A_i \cdot U_i \geq 0,1 \cdot (L_e + L_u + L_g)$$

L_{ψ} Leitwertzuschlag für zweidimensionale Wärmebrücken in W/K

L_{λ} Leitwertzuschlag für dreidimensionale Wärmebrücken in W/K

$f_{i,h}$ Temperaturkorrekturfaktor

A_i Bauteilfläche in m²

U_i Wärmedurchgangskoeffizient in W/m²K

L_e Leitwert der außenluftberührten Konstruktionen in W/K

L_u Leitwert über unkonditionierte Räume in W/K

L_g Leitwert der erdberührten Konstruktionen in W/K

2.3 Lüftungswärmeverluste

Die Luftwechselrate ist im Hinblick auf energiesparendes Bauen für die Planung und Ausführung von Gebäuden eine wichtige Größe. Aus energetischen Gründen sollte diese möglichst gering gehalten werden. Ein ausreichender Luftwechsel ist jedoch für den hygienischen und bauphysikalischen Frischluftbedarf notwendig. [HAL04] Bei der Mehrzahl der heute errichteten Gebäude erfolgt die Lüftung über Fenster und Türen oder andere Öffnungen in der Gebäudehülle. Man spricht von freier oder natürlicher Lüftung, wenn als Antriebskräfte ausschließlich Temperatur- und Windeinwirkung vorherrschen. [MAA95]

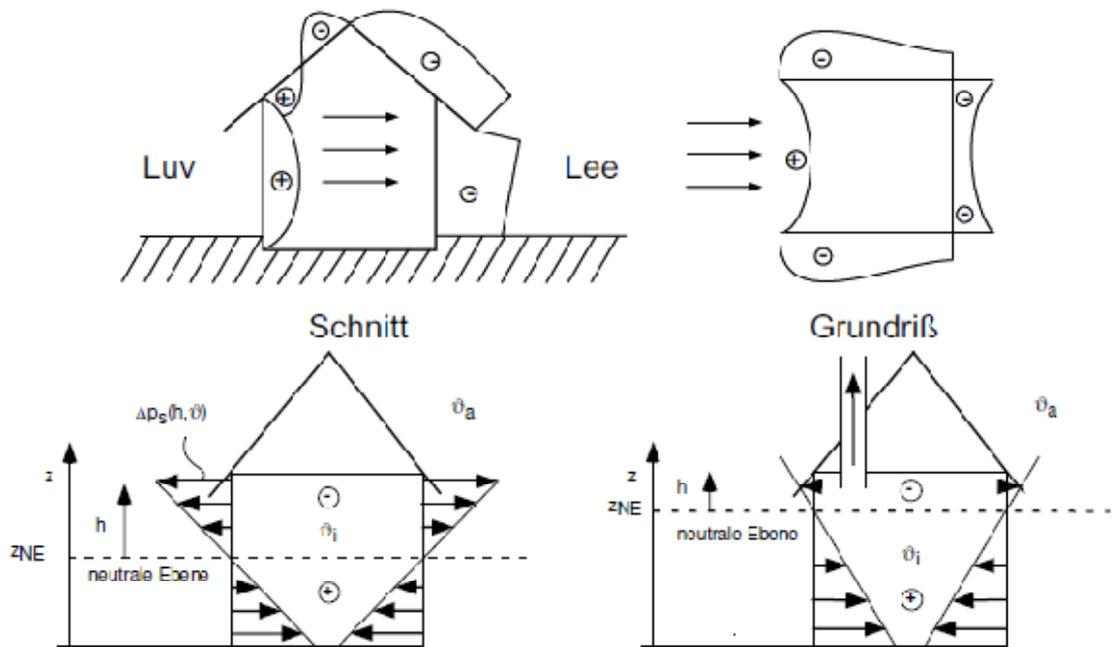


Abbildung 1 Wind- und Temperatureinfluss [HAL04]

Zur Charakterisierung des Luftaustausches dient die Luftwechselrate n mit der Einheit h^{-1} . Sie gibt an, wie oft das Luftvolumen eines Raumes in der Stunde ausgewechselt wird [RIC10]

$$n = \frac{\dot{V}}{V}$$

$$V = 0,8 \cdot 2,6m \cdot BGF$$

$$NF = 0,8 \cdot BGF$$

n	Luftwechsel in h^{-1}
\dot{V}	Volumenstrom in m^3/h
V	Gebäudelüftungsvolumen in m^3
BGF	Brutto-Grundfläche in m^2
NF	Nutzfläche in m^2

Der Luftwechsel laut ÖNORM B 8110-5 beträgt $n_{L,FL} = 0,4 \text{ h}^{-1}$.

Für die angepasste Berechnung wird die Summe aus dem Fugenluftwechsel n_x und dem Fensterluftwechsel bestehend aus der einseitigen Fensterlüftung n_{FL} und der Querlüftung n_{QL} gebildet.

$$n_{L,FL} = n_x + n_{FL} + n_{QL}$$

Die **Lüftungswärmeverluste** Q_L bezeichnen die Energiemenge, welche während eines vorgegebenen Zeitraums zur Verfügung gestellt werden muss, um innerhalb des Betrachtungszeitraumes die gewünschte Raumlufttemperatur zu halten.

$$Q_L = \dot{V} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T \cdot t$$

$$Q_L = Q_x + \sum_i Q_{FL,i} + \sum_i Q_{QL,i}$$

Q_L	Lüftungswärmeverlust in Wh
Q_x	Wärmemenge infolge Fugenlüftung in Wh
$Q_{FL,i}$	Stündlicher Lüftungswärmeverlust infolge einseitiger Fensterlüftung pro Fenster
$Q_{QL,i}$	Stündlicher Lüftungswärmeverlust infolge Querlüftung
$\rho_L \cdot c_{p,L}$	= 0,34 Wh/(m ³ K); Dichte der Luft x Wärmekapazität der Luft
ΔT	Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft in °K
t	Berechnungszeitraum in h

2.3.1 Fugenlüftung

Die bei jedem Gebäude vorhandenen Undichtheiten der Außenhülle wie Fenster- und Türfugen, Risse in Putz und Mauerwerk, Dachanschlüsse, Briefkastenschlitze etc. bewirken gewollt oder ungewollt eine Grundlüftung der Innenräume. [MEY87]

Der Luftwechsel bei der Fugenlüftung ist in hohem Maße von den Wetterbedingungen abhängig: Bei starken Wind oder niedrigen Außentemperaturen kann der Luftwechsel zu hoch, bei mäßig warmen oder windstillem Wetter zu gering sein. [ASC04]

Bei einer Sanierung, besonders durch einen Fenstertausch, wird die Dichtheit eines Gebäudes stark erhöht. Der zufällige Luftaustausch durch die Fugen geschlossener Fenster hat zur Erzielung hygienischer Raumlftverhältnisse und damit Vermeidung von Schimmelpilzbildung auch bei undichteren Fenstern nicht ausgereicht. Allerdings war damals eine gewisse „Grundlüftung“ durch die Fugenlüftung größer. Der je nach Raumart und Personenanzahl erforderliche Luftwechsel muss entweder durch Fensterlüftung „von Hand“ oder durch zentrale Lüftungsanlagen erfolgen. [KÜN06]

Nachteile von undichten Gebäudehüllen sind:

- Erhöhung des Wärmebedarfs und Verringerung der thermischen Behaglichkeit (Zugerscheinungen)
- Trockene Raumluft vor allem im Winter
- Keine gesicherte Lüftung einzelner Räume
- Verringerung des Schallschutzes durch undichte Fenster
- Gefahr von Bauschäden

Da die genaue Erfassung der Dichtheit der Testgebäude mit großem Aufwand verbunden wäre bzw. durch bereits ausgeführte Sanierungsmaßnahmen unmöglich gemacht wurde, musste die Gebäudehülle auf Basis der in Tabelle 5 angegebenen Werte und den jeweiligen Sanierungsstufen des Gebäudes abgeschätzt werden.

Tabelle 5 Beispiele für Undichtheitskennwerte [ÖNO09]

	Level der Undichtheit	n (in h^{-1}) (exp $n = 0,667$)			Außenfläche/ Volumen 1/m
		$n_{4\text{Pa}}$	$n_{10\text{Pa}}$	$n_{50\text{Pa}}$	
Einfamilienhaus	Gering	0,4	0,8	1,9	0,75
	Mittel	0,8	1,5	3,8	0,75
	Hoch	1,5	2,6	7,5	0,75
Mehrfamilienhaus Nichtwohngebäude mit Ausnahme von Industriegebäuden	Gering	0,2	0,4	1,0	0,4
	Mittel	0,4	0,8	2,0	0,4
	Hoch	0,8	1,4	4,0	0,4
Industriegebäude	Gering	0,3	0,6	1,5	0,3
	Mittel	0,6	1,1	3,0	0,3
	Hoch	1,2	2,1	6,0	0,3

Der durch Fugenlüftung indizierte Luftwechsel n_x wird vereinfacht mit folgender Formel berechnet:

$$n_x = 0,1 \cdot n_{50}$$

n_{50} Luftwechsel bei 50 Pa Über- oder Unterdruck im Gebäude in h^{-1}

n_x Fugenlüftung indizierter Luftwechsel in h^{-1}

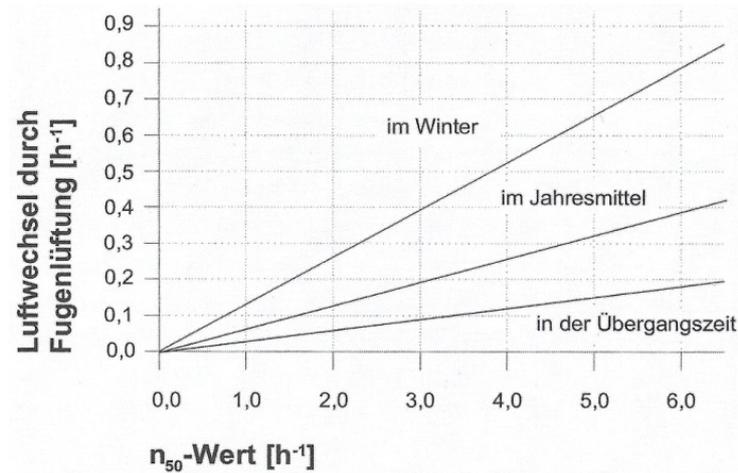


Abbildung 2 Luftwechsel durch Fugen und Undichtheiten in der Gebäudehülle [ASC04]

$$Q_x = V \cdot n_x \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T \cdot t$$

Q_x	Wärmemenge infolge Fugenlüftung in Wh
V	Gebäudelüftungsvolumen in m ³
n_{50}	Luftwechsel bei 50 Pa Über- oder Unterdruck im Gebäude in h ⁻¹
n_x	Fugenlüftung indizierter Luftwechsel in h ⁻¹
$\rho_L \cdot c_{p,L}$	= 0,34 Wh/(m ³ K); Dichte der Luft x Wärmekapazität der Luft
ΔT	Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft in °K
t	Berechnungszeitraum in h

Diese Abschätzungen und Vereinfachungen wurden in der Sensitivitätsanalyse mit einer Streuung von $\pm 20\%$ versehen.

2.3.2 Fensterluftwechsel

Bei Gebäuden, deren Dichtheit den Anforderungen dem momentanen Stand der Technik entsprechen, ist für die Höhe der Lüftungswärmeverluste fast ausschließlich das Lüftungsverhalten der Nutzer entscheidend. Über die allgemeinen Ursache-Wirkungs-Beziehungen ist bisher allerdings noch zu wenig bekannt. Messtechnische Untersuchungen, Befragungen von Nutzern und Beobachtungen, wie sie in einer großen Anzahl von Veröffentlichungen wiedergegeben sind, zeigen die Vielzahl der Einflüsse hinsichtlich des Nutzerverhaltens auf. [MAA95]

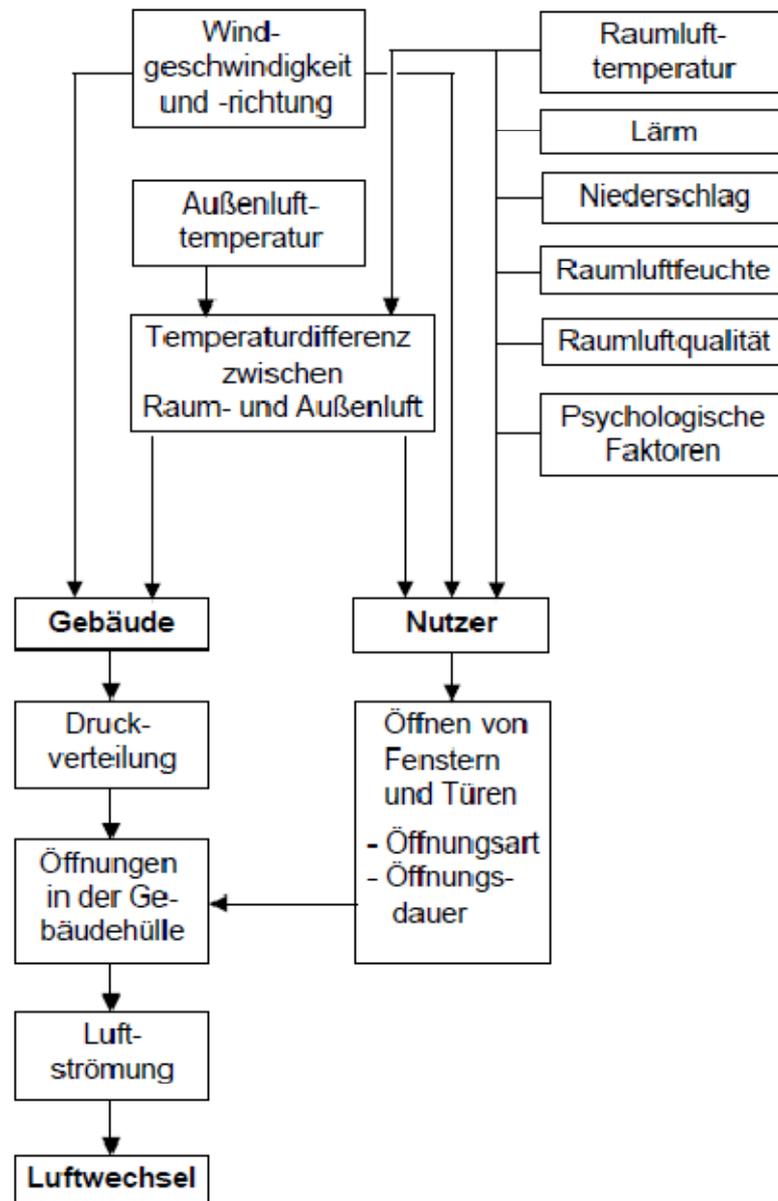


Abbildung 3 Einflussfaktoren auf den Luftwechsel[MAA95]

In [ANT10] wird die logistische Regression benutzt um die Wahrscheinlichkeit p für ein offenes Fenster bei sich ändernden Außentemperaturen und einer bestimmten Raumart zu berechnen.

$$p = \frac{e^{a+b \cdot t_e}}{1 + e^{a+b \cdot t_e}}$$

Tabelle 6 Coefficients calculated by logistic regression with exterior temperature as only covariate [ANT10]

	Coefficient a	Coefficient b
Kitchen	-2,90	0,108
Living Room	-4,10	0,116
Bathroom	-3,57	0,105
Sleeping Room	-1,87	0,055
Nicol - Europe	-2,31	0,104

In dieser Arbeit wird das Lüftungsverhalten der Bewohner mittels einer gezielten Befragung etwas genauer betrachtet. Mit diesen Daten wird für jeden Raum und für jedes Fenster ein stündliches Öffnungsprofil erstellt, welches die Öffnungsart (ganz offen, gekippt und Querlüften) und die Öffnungsdauer in Minuten bei 10°C Außentemperatur enthält.

In mehreren Veröffentlichungen hat sich die Selbsteinschätzung des Lüftungsverhaltens der Bewohner als äußerst unzuverlässig erwiesen. [MEY87] [ASC04] Dennoch bietet eine Befragung die verhältnismäßig beste Ausgangsbasis für eine Abschätzung der Fensterluftwechsel. Damit eine relativ große Bandbreite an Lüftungsgewohnheiten abgedeckt wird, variiert in der Sensitivitätsanalyse die Öffnungsdauer um $\pm 50\%$.

Um die Öffnungsdauer auf die sich ständig ändernden Außentemperaturen anzupassen wird die Formel für die Wahrscheinlichkeit für ein offenes Fenster herangezogen, um einen Außentemperaturabhängigen Korrekturwert für die Öffnungsdauer zu berechnen.

$$k_i = \frac{p_{i,t_e}}{p_{i,t_{10}}} = \frac{e^{a+b \cdot t_e} / (1 + e^{a+b \cdot t_e})}{e^{a+b \cdot 10} / (1 + e^{a+b \cdot 10})}$$

p_{i,t_e} Wahrscheinlichkeit für ein offenes Fenster bei der momentanen Außentemperatur

$p_{i,t_{10}}$ Wahrscheinlichkeit für ein offenes Fenster bei 10°C Außentemperatur

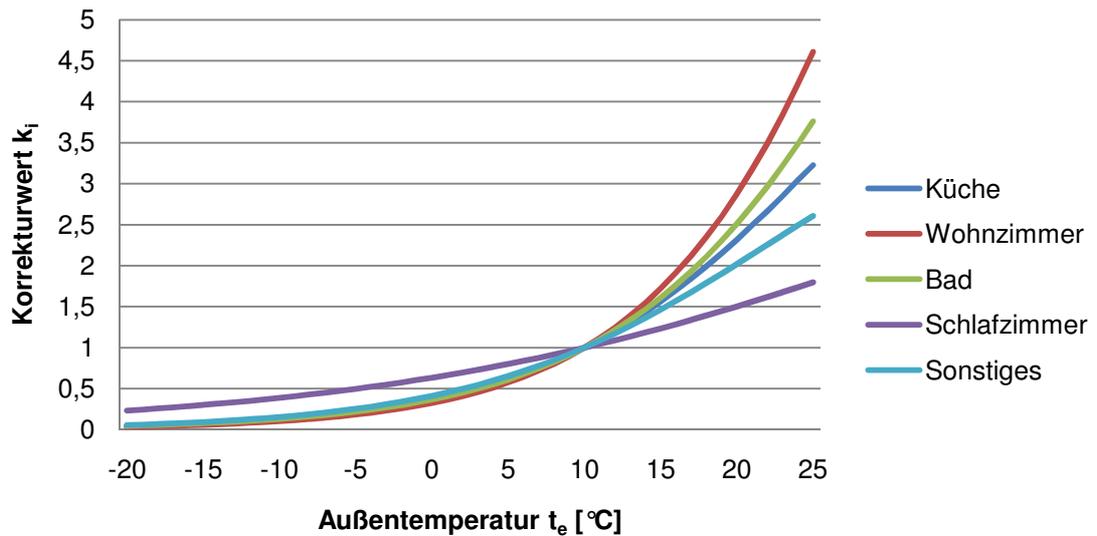


Abbildung 4 Korrekturwert k_i für die Fensteröffnungszeit zufolge Außentemperatur und Raumart

Als Ausgangsbasis für die Lüftungswärmeverluste durch Fensterlüftung dienten die stündlichen Klimadaten des Testreferenzjahres in Bregenz und das stündliche Öffnungsprofil jedes Fensters.

$$Q_{FL,i} = \dot{V}_{FL,i} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T_i \cdot \frac{d_i}{60} \cdot k_i$$

$$Q_{QL,i} = \dot{V}_{QL,i} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T_i \cdot \frac{d_i}{60} \cdot k_i$$

$Q_{FL,i}$	Stündlicher Lüftungswärmeverlust infolge einseitiger Fensterlüftung pro Fenster
$Q_{QL,i}$	Stündlicher Lüftungswärmeverlust infolge Querlüftung
$\dot{V}_{FL,i}$	Volumenstrom zufolge einseitiger Fensterlüftung in m^3/h
$\dot{V}_{QL,i}$	Volumenstrom zufolge Querlüftung in m^3/h
$\rho_L \cdot c_{p,L}$	= 0,34 Wh/(m^3 K); Dichte der Luft x Wärmekapazität der Luft
ΔT_i	Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft in °K
d_i	Öffnungszeit laut Fensteröffnungsprofil eines Fensters in Minuten pro Stunde bei 10 °C Außentemperatur
k_i	Korrekturwert für die Fensteröffnungszeit zufolge Außentemperatur und Raumart

2.3.3 Einseitige Fensterlüftung

Die Effektivität der Lüftung ist u.a. abhängig von:

- der Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen
- der Windgeschwindigkeit, -richtung und -fluktuation
- der Anordnung des Fensters in der Fassade
- der Größe der Öffnungsfläche des Fensters
- der horizontalen und vertikalen Anordnung der Öffnungsflächen
- der Laibungstiefe und -abstand zum Fenster
- der Anordnung eines Heizkörpers zum Fenster
- dem Fensterschmuck, z.B. Pflanzen, Gardinen
- dem Lüftungsverhalten des Nutzers

Die Aufzählung zeigt, dass die Lüftungseffektivität von vielfältigen Faktoren beeinflusst wird. Auf einige dieser Faktoren kann der Nutzer einwirken, jedoch sind die Meisten bauseits festgelegt bzw. von den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen abhängig. [HAL04]

Die maßgeblich treibenden Kräfte für den Luftwechsel bei einseitiger Fensterlüftung sind die Druckdifferenzen am Fenster, die durch die anliegende Temperaturdifferenz induziert werden.

Der Luftvolumenstrom \dot{V} durch Fenster in m^3/h wird mit folgender Gleichung abgeschätzt: [RIC10]

$$\dot{V}_{FL} = C_{ref} \cdot A \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{\Delta T}$$

\dot{V}_{FL}	Volumenstrom über die Lüftungsöffnung in m^3/h
C_{ref}	Austauschkoeffizient; $C_{ref} = 100 \frac{\text{m}^{0,5}}{\text{h K}^{0,5}}$
A	Fläche der Lüftungsöffnung gemäß Abbildung 5 in m^2
H	Höhe der Lüftungsöffnung gemäß Abbildung 5 in m
ΔT	Lufttemperaturdifferenz zwischen Außenluft und Innenraum in K

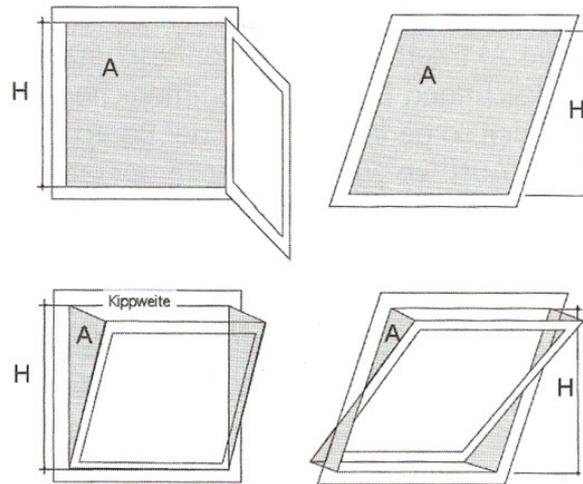


Abbildung 5 Definition der Öffnungsfläche A zur Bestimmung des Volumenstroms [RIC10]

2.3.4 Querlüftung

Der Wind hat, anders als bei der einseitigen Fensterlüftung, einen sehr große Wirkung auf den Luftwechsel der Querlüftung. Schon bei sehr kleinen Windgeschwindigkeiten überwiegen die Effekte der Windanströmung, speziell der Anteil der Durchströmung des Gebäudes. [MAA98] Für den gewählten Modellansatz sind Austauschkoefizienten für die örtliche Windgeschwindigkeit C_1 [-], der Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft C_2 [m/s²K], den Turbulenzen für den Luftaustausch C_3 [m²/s²] und für die Durchströmung des Gebäudes C_4 [-] notwendig

Der gewählte Modellansatz für die Querlüftung über je ein Fenster der gegenüberliegenden Fassaden lautet somit:

$$\dot{V}_{QL} = \left(\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{2} \right) \cdot \sqrt{C_1 \cdot u^2 + C_2 \cdot H_{1,2} \cdot \Delta T + C_3} + \frac{\sqrt{C_4 \cdot u^2}}{\sqrt{A_1^{-2} + A_2^{-2}}}$$

- \dot{V}_{QL} Volumenstrom über die Lüftungsöffnungen in m³/h
- C_n Austauschkoefizienten;
- A_n Fläche der Lüftungsöffnung je Fassadenseite
- H Höhe der Lüftungsöffnung
- ΔT Lufttemperaturdifferenz zwischen Außenluft und Innenraum in K
- u Windgeschwindigkeit in m/s

Tabelle 7 Austauschkoefizienten für den gewählten Modellansatz [MAA98]

Variante	C_1 [-]	C_2 [m/s ² K]	C_3 [m ² /s ²]	C_4 [-]
Standard	1,97E-02	1,90E-03	1,71E-02	1,95E-02
einseitig vermindert	2,61E-05	1,33E-04	8,77E-04	1,06E-02
beidseitig vermindert	5,56E-03	1,74E-04	2,95E-03	3,73E-03

2.4 Innere Gewinne

Unter **Inneren Gewinne** versteht man die Summe der Wärmeeinträge von Personen, elektrischen Beleuchtungen und Geräten und den Einträgen durch Stoffwechselaktivitäten.

Personen geben je nach Aktivität Wärme an die Umgebung ab. Hier wird mit einem Mittelwert von 80 Watt pro Stunde und Person gerechnet. [ENI07]

Elektrisch betriebene Geräte und Beleuchtungen geben einen großen Teil der zugeführten elektrischen Energie in Form von Wärme an die Umgebung ab. Bei dieser Berechnung wurden 80 % der elektrischen Energie aus der jeweiligen Stromrechnung für die Wärmefreisetzung einberechnet.

Um mögliche Schwankungen im Nutzerverhalten auszugleichen variiere ich die Anwesenheit der Personen um je 3 Stunden pro Person und Tag. Die Wärmefreisetzung aus der elektrischen Energie wurde mit einer Streuung von $\pm 10\%$ versehen.

2.5 Nutzerverhalten

Tabelle 8 Nutzungsprofil für Einfamilienhäuser gemäß ÖNORM B 8110-5

Innentemperatur	θ_{ih}	20	°C
Temperatur in nicht konditionierten Bereichen	θ_{iu}	13	°C
Luftwechsel	$n_{L,FL}$	0,4	1/h
Innere Gewinne	$q_{i,h,n}$	3,75	W/m ² NF
Warmwasserwärmebedarf	$wwwb$	35,0	Wh/d m ² NF
		12,78	kWh/m ² a

Das Nutzerverhalten für die angepasste Berechnung wurde mit Hilfe eines Fragenkataloges und eines Interviews mit den Bewohnern der Testgebäude erarbeitet.

Die **Innentemperatur** θ_{ih} , die sogenannte approximative operative Temperatur, besteht aus dem arithmetischen Mittel der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur im Mittelpunkt einer Zone oder eines Raumes.

Die Innentemperatur eines konditionierten Bereiches ergibt sich aus dem gewichteten Mittel über die erfragten Raumtemperaturen der einzelnen Räume. [EN108]

$$\theta_{ih} = \frac{\sum_n \theta_{i,n} \cdot A_{R,n}}{\sum_n A_{R,n}}$$

$\theta_{i,n}$ Innentemperatur des Raumes in °C

$A_{R,n}$ Fläche des Raumes in m²

Für die Innentemperaturen in einem beheizten Keller wird angenommen, dass sie sinusförmig um ihr Jahresmittel schwankt. Die Berechnung stützt sich dabei auf die Angaben der Bewohner welche die höchste Temperatur im Sommer und die niedrigste Innentemperatur im Winter abschätzten.

Für den **Warmwasserwärmebedarf** werden 25 – 30 Liter Wasser pro Person und Tag um 60 °C erwärmt.

$$Q_{TW} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Q Wärmemenge in Ws

m Masse = 25 kg Wasser je Person und Tag

c spezifische Wärmekapazität von Wasser = 4186 Ws/kgK

ΔT Temperaturänderung = 60 K

Mögliche Schwankungen bei den Innentemperaturen werden mit $\pm 0,5$ °C und bei dem Warmwasserwärmebedarf mit ± 5 Liter pro Person und Tag in der Sensitivitätsanalyse einberechnet.

2.6 Wärmespeicherung

Die Wärmespeicherfähigkeit C ist ein wichtiger Parameter für das thermische Verhalten eines Gebäudes und hängt von seiner Bauweise ab. Vereinfacht kann sie aus dem Volumen des Gebäudes und einem Faktor für die Bauweise abgeschätzt werden. [RIC10]

$$C = f_{BW} \cdot V$$

C	wirksame Wärmespeicherfähigkeit in Wh/k
V	konditioniertes Volumen in m ³
f_{BW}	spezifische Kapazität einer Bauweise in Wh/Km ³

Tabelle 9 Einteilung der Bauweisen [ÖNO076]

$f_{BW} = 10 \text{ Wh/m}^3\text{K}$	leichte Bauweisen	Gebäude in Holzbauart ohne massive Innenbauteile
$f_{BW} = 20 \text{ Wh/m}^3\text{K}$	mittelschwere Bauweisen	Gebäude in Mischbauweise oder in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden
$f_{BW} = 30 \text{ Wh/m}^3\text{K}$	schwere Bauweisen	Gebäude mit großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängte Decken
$f_{BW} = 60 \text{ Wh/m}^3\text{K}$	sehr schwere Bauweisen	Gebäude mit sehr massiven Außen- und Innenbauteilen (Altbaubestand)

2.7 Bilanzierung

2.7.1 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf (HWB) ist die Wärmemenge, die im Laufe eines Jahres dem Gebäude zugeführt werden muss, um eine minimale Raumtemperatur einzuhalten. [RIC10]

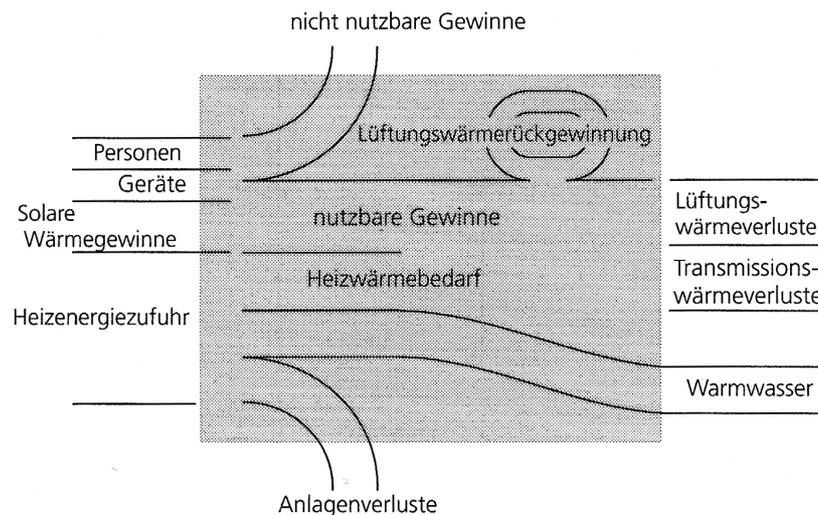


Abbildung 6 Energiefluss Heizung und Warmwasser [RIC10]

Grundsätzlich stehen laut [ENI08] drei Möglichkeiten zur Berechnung des Heizwärmebedarfes zur Verfügung:

- dynamische Verfahren (Gebäudesimulation),
- quasi-stationäre Verfahren (Monats-Bilanzverfahren),
- stationäre Verfahren (Heizperioden-Bilanzverfahren)

In Österreich hat man sich dazu entschlossen, als künftiges Mindestniveau das Monats-Bilanzverfahren vorzuschreiben.[PHÖ07] Diese Diplomarbeit beschränkt sich ausschließlich auf das Quasi-stationären Verfahren, da es üblicherweise auch zur Berechnung der gesetzlich vorgeschriebenen Energieausweise verwendet wird.

Der Heizwärmebedarf errechnet sich aus:

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta \cdot (Q_S + Q_I)$$

- | | |
|--------|--|
| Q_h | Heizwärmebedarf in kWh |
| Q_T | monatliche Transmissionswärmeverluste in kWh |
| Q_V | monatliche Lüftungswärmeverluste in kWh |
| Q_S | monatliche solare Gewinne in kWh |
| Q_I | monatliche innere Gewinne in kWh |
| η | Ausnutzungsgrad in kWh |

2.7.2 Heiztechnikenergiebedarf

In Analogie zum Heizwärmebedarf wird auch der Heizenergiebedarf ermittelt. Der jährliche Heizenergiebedarf eines Gebäudes ist die rechnerisch ermittelte Wärmemenge, die im Mittel während einer Heizsaison den Räumen des Gebäudes und dem Wasser zur Warmwasserbereitung zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf und den Warmwasser-Wärmebedarf decken zu können. Für konventionell betriebene Gebäude bedeutet das, dass sowohl der Heizwärmebedarf durch ein Wärmebereitstellungssystem gedeckt werden muss, als auch ein Warmwasserwärmebedarf. Es entstehen dabei Verluste bei der Wärmeabgabe, der Wärmeverteilung und einer allenfalls vorhandenen Wärmespeicherung. Fallen derartige Verluste innerhalb der konditionierten Gebäudehülle an, sind sie teilweise zurückgewinnbar. Die Berechnung jenes Anteils, der zurückgewonnen werden kann, folgt dem Muster der Berechnung des Ausnutzungsgrades im Rahmen der Berechnung des Heizwärmebedarfs, wobei allerdings das Verhältnis von Verlusten zu Gewinnen entsprechend zu modifizieren ist. [PHÖ07]

Die folgenden Berechnungen sind grundsätzlich mit den tatsächlichen Werten – also beispielsweise Leitungsdimensionen und -längen, Speicher- und Kesselverluste etc. – zu berechnen. Da es nicht möglich war diese Daten in den bestehenden Gebäuden aufzunehmen, hielt ich mich an die Defaultwerte der [ÖNO11] .

Stromverbrauch gesamt	Strombedarf gesamt	Strombedarf Geräte + Beleuchtung	
		Hilfsenergie für die Haustechnik	EEB
Wärmegewinn Solaranlage	Solare Wärmegewinne	HTEB	
		HWB	
Ableseung Öl, Gas oder Holzverbrauch	Brennstoffbedarf	WWWB	

Abbildung 7 Vergleich zwischen Verbrauchsdaten und Bedarfsberechnung

- HTEB* Heiztechnikenergiebedarf: Energiemenge die bei der Wärmeerzeugung, –speicherung und -verteilung verloren geht. (in der gesamten Arbeit ohne Elektrische Hilfsenergie)
- HWB* Heizwärmebedarf
- WWWB* Warmwasser-Wärmebedarf
- EEB* Endenergiebedarf: Energiemenge die dem Energiesystem des Gebäudes für Heizung und Warmwasserversorgung inklusive notwendiger Energiemengen für die Hilfsbetriebe zugeführt werden muss.

2.7.3 Dynamische Parameter

Bei den quasi-stationären Verfahren werden die dynamischen Auswirkungen durch die Einführung von Korrelationsfaktoren berücksichtigt: den Ausnutzungsgraden der Einträge und/oder Verluste

Beim Heizen berücksichtigt ein Ausnutzungsgrad der inneren und solaren Wärmeeinträge den Umstand, dass nur ein Teil der inneren und solaren Wärmeeinträge zur Senkung des Heizwärmebedarfs genutzt wird; der restliche Teil führt zu einem nicht erwünschten Anstieg der Innentemperatur über den Sollwert hinaus. [ENI08]

Der Ausnutzungsgrad ist von Gewinn-/Verlustverhältnis und der Zeitkonstante des Gebäudes Abhängig

Gewinn/Verlustverhältnis:

$$\gamma = \frac{Q_S + Q_I}{Q_T + Q_V}$$

Zeitkonstante:

$$\tau = \frac{C}{(L_T + L_V)}$$

Die Zeitkonstante beschreibt, wie schnell ein Gebäude auskühlt, wenn keine Gewinne vorhanden sind bzw. wie schnell es aufgewärmt werden kann, wenn Gewinne vorhanden sind. [RIC10]

Berechnung des Ausnutzungsgrades:

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \text{ für } \gamma \neq 1$$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \text{ für } \gamma = 1$$

Mit dem Parameter

$$a = 1 + \frac{\tau}{16 h}$$

Q_T	monatliche Transmissionswärmeverluste in kWh
Q_V	monatliche Lüftungswärmeverluste in kWh
Q_S	monatliche solare Gewinne in kWh
Q_I	monatliche innere Gewinne in kWh
η	Ausnutzungsgrad in kWh
γ	Gewinn-/Verlustverhältnis
τ	Zeitkonstante in h
C	Wirksame Speicherkapazität des Gebäudes in Wh/K
L_T	Transmissionsleitwert in W/K
L_V	Lüftungsleitwert in W/K
a	Parameter

2.8 Heizwert von Brennstoffen

Für den Heizungsbauer sind zwei Kennwerte eines Brennstoffes wichtig: der Brennwert H_o und der Heizwert H_u . Der Brennwert gibt die Wärmemenge an, die bei der vollständigen Verbrennung eines Brennstoffs entsteht, wenn das bei der Verbrennung erzeugte Wasser kondensiert und die vorher darin gebundene Verdampfungswärme frei wird. Da dieser Zustand selbst in Brennwertkesseln nicht dauernd erreicht wird, verwendet man in der Praxis den Heizwert H_u . Er gibt ebenfalls die Wärmemenge bei vollständiger Verbrennung an, berücksichtigt aber nicht die Verdampfungswärme, da das entstehende Wasser als Dampf den Schornstein verlässt. [SOL90] In der Literatur sind stark unterschiedliche Angaben zu den Heizwerten der einzelnen Brennstoffe zu finden.

Tabelle 10 Verschiedene Angaben zu Heizwerten

		ÖNORM H 5050 [ÖNO89]	Energiesparhaus.at [Ene111]	Energieinstitut Vorarlberg [Ene11]	gewählte Heizwerte H_u für die Berechnung
Erdgas	kWh/m ³	9,5	9,5 - 10,3	10,2	10,0
Heizöl Extraleicht	kWh/l	9,8	10,0	10,0	10,0
Stückholz	weich	kWh/rm	1300 - 1500	1800	1800
	mittelhart		1500 - 1900		
	hart		1900 - 2400		

Ein Raummeter (rm) ist die in einen Kasten von 1 m x 1 m x 1 m hineinpassende Holzmenge in Form von geschichteten Scheiten oder Rundhölzern. Ein Festmeter (fm) entspricht einem Kubikmeter fester Holzmasse ohne Luftzwischenräume.

3 Befragung und Datenbeschaffung

Wichtig für die Auswahl der Gebäude war ein gut dokumentierter Brennstoffverbrauch über die letzten Jahre. Bei der Suche nach geeigneten Testobjekten habe ich mich hauptsächlich auf Öl-, Gas- oder Strombeheizte Bauwerke konzentriert, bei denen in den letzten Jahren ein oder mehrere Sanierungsschritte durchgeführt wurden.

3.1 Gebäudedaten

Der Großteil der Gebäudedaten, welche auch schon für die Berechnung von Energieausweisen verwendet wurden, stellte mir Gebhard Bertsch von Ökoberatung Bertsch in Ludesch zur Verfügung.

Als Grundlage für die Bedarfsberechnungen dienen alte Einreichpläne im Maßstab M1:100 welche aus dem Baujahr der Gebäude stammen. Die Wand- und Deckenaufbauten wurden nach dem Wissen der Bewohner und dem Wissen über die damalige Bautradition rekonstruiert, dabei kann es zu größeren Abweichungen zwischen der Wirklichkeit und den Annahmen kommen. Die Materialeigenschaften der Baustoffe stammen aus der Datenbank von www.baubook.at. [bau11]

Bei einer örtlichen Besichtigung der Gebäude wurden Änderungen oder Besonderheiten notiert und später bei der Berechnung berücksichtigt. Auch die Haustechnik wurde besichtigt und die technischen Kennwerte der Heizungsanlagen erfasst.

Beim Interview mit den Bewohnern wurden auch die einzelnen Sanierungsschritte inklusive Datum der Fertigstellung protokolliert.

3.2 Nutzerverhalten und Verbrauchsdaten

Das Nutzerverhalten wurde mit einer Befragung eines Hausbewohners anhand eines vorher ausgearbeiteten Fragebogen (siehe Anhang) erhoben. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die durchschnittliche Anwesenheit der Personen im Haushalt, die Innentemperaturen der einzelnen Räume und das Lüftungsverhalten gelegt.

Bei den Innenraumtemperaturen musste ich mich auf Raumthermostate, die Ablesungen von Thermometern und auf die Angaben und Schätzungen der Bewohner verlassen. Über eventuelle Temperaturabsenkungen oder Auskühlungen in der Nacht gibt es fast keine Daten.

Das Abschätzen des Lüftungsverhaltens gestaltet sich ebenfalls als sehr schwierig. Außer beim bewussten Querlüften durch das Haus werden die Fenster meist nach Bedarf geöffnet. Hierbei sind die Aufenthaltszeiten, die Tätigkeiten im Raum und das Wechseln der Zimmer sind von großer Bedeutung, da eine schlechte Raumluftqualität meistens nur beim Betreten oder Verlassen eines Raumes bemerkt wird.

Für den Warmwasserverbrauch wird unterschieden zwischen:

- sparsam (nur Duschen): 25 Liter pro Person und Tag
- durchschnittlich (1 Vollbad pro Woche) 30 Liter pro Person und Tag
- nicht sparsam (2 Vollbäder pro Woche) 50 Liter pro Person und Tag

Die Verbrauchsdaten für Öl, Gas oder Strom stammen entweder aus alten Rechnungen, Ablesungen der Bewohner oder Hochrechnungen der vorhandenen Daten.

4 Auswertung der Versuchsgebäude

4.1 Haus 1

4.1.1 Gebäude

Einfamilienhaus Baujahr 1987

Seehöhe 472 m.ü.A.

Konditioniertes Bruttovolumen 709,75 m³

Brutto-Grundfläche = 280,62 m²

Kompaktheit A/V = 0,69

1 kond. Kellergeschoss, schwere Bauweise

BGF = 91,65 m²

2 kond. Obergeschosse, mittelschwere Bauweise

BGF = 188,97 m²

Sonnige Lage

Baugrund: Sand, Kies



Abbildung 8 Süd-West-Ansicht zur Verfügung gestellt von Ökoberatung Bertsch (Haus 1)



Abbildung 9 Luftbild www.voralrberg.at/atlas (Haus 1)

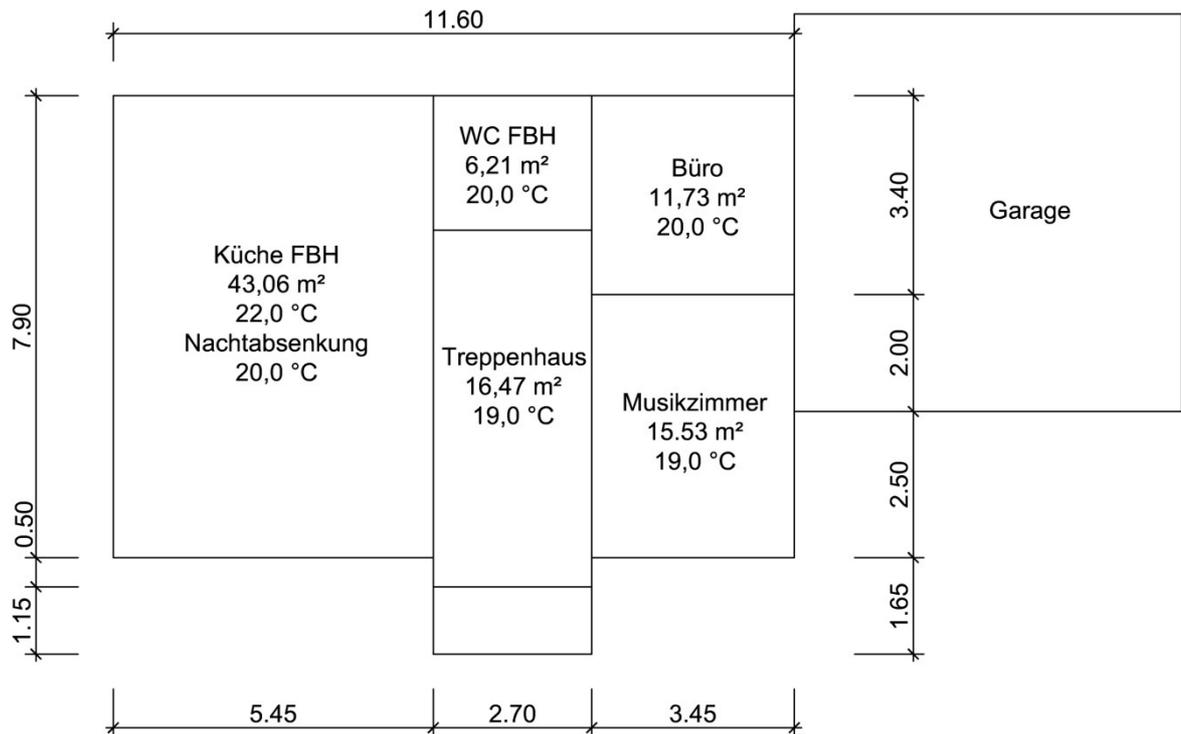


Abbildung 10 Grundriss: konditioniertes Erdgeschoss

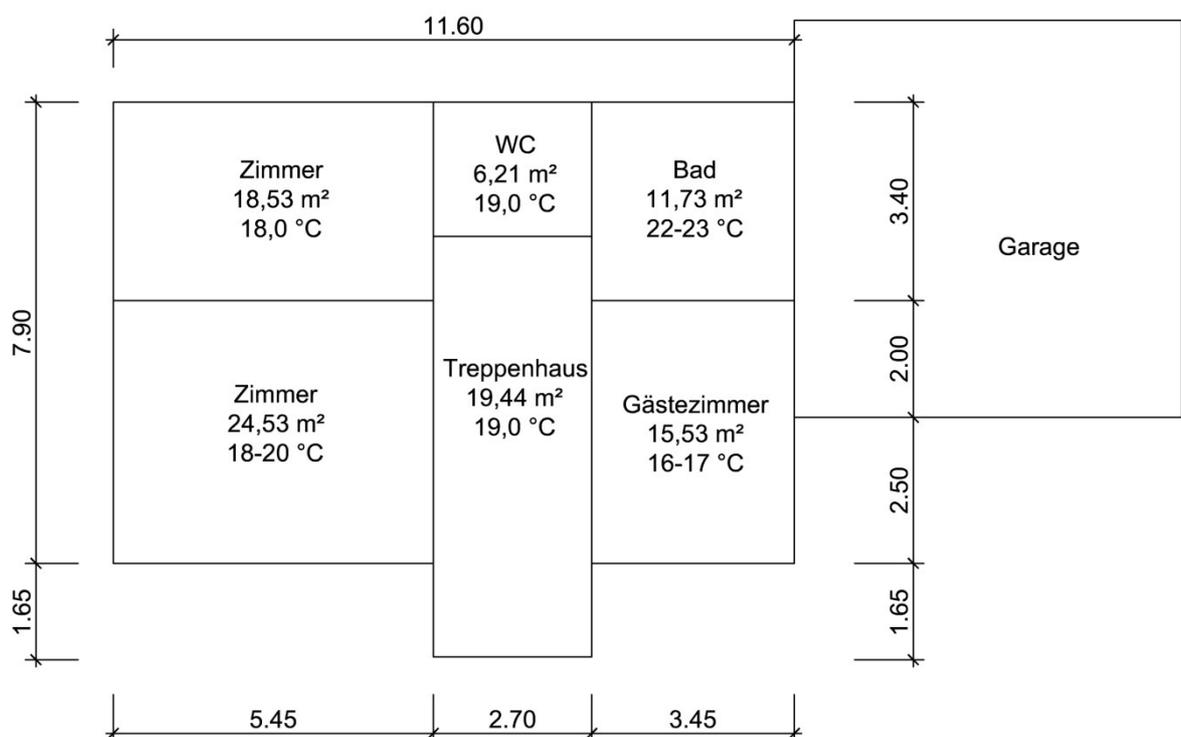


Abbildung 11 Grundriss: konditioniertes Obergeschoss

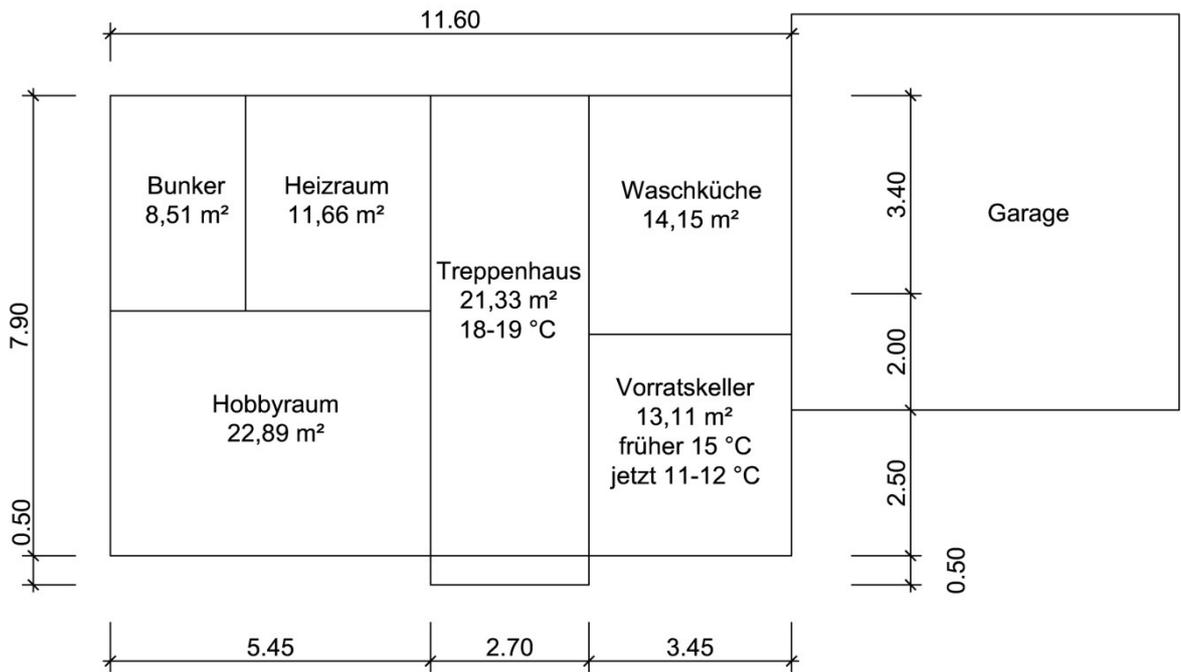


Abbildung 12 Grundriss: teilweise konditionierter Keller

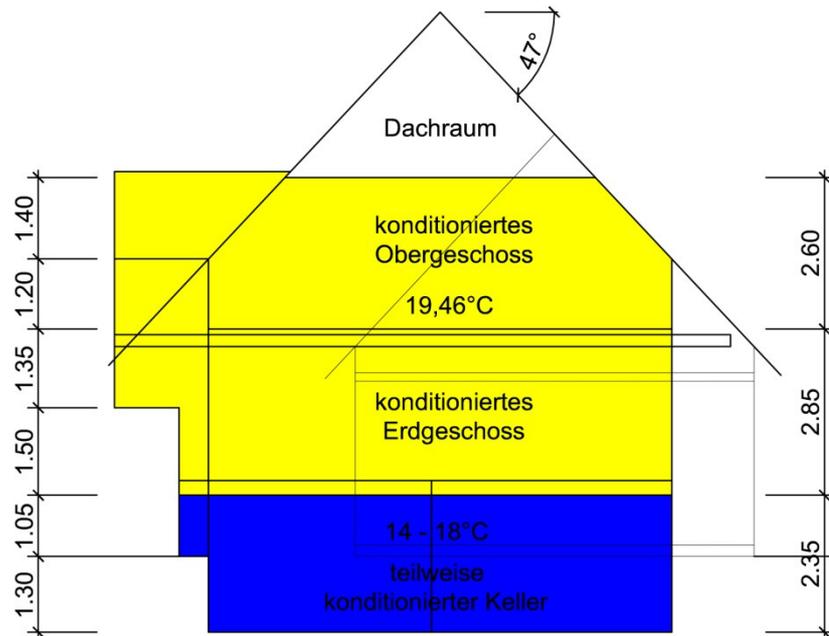


Abbildung 13 Schnitt

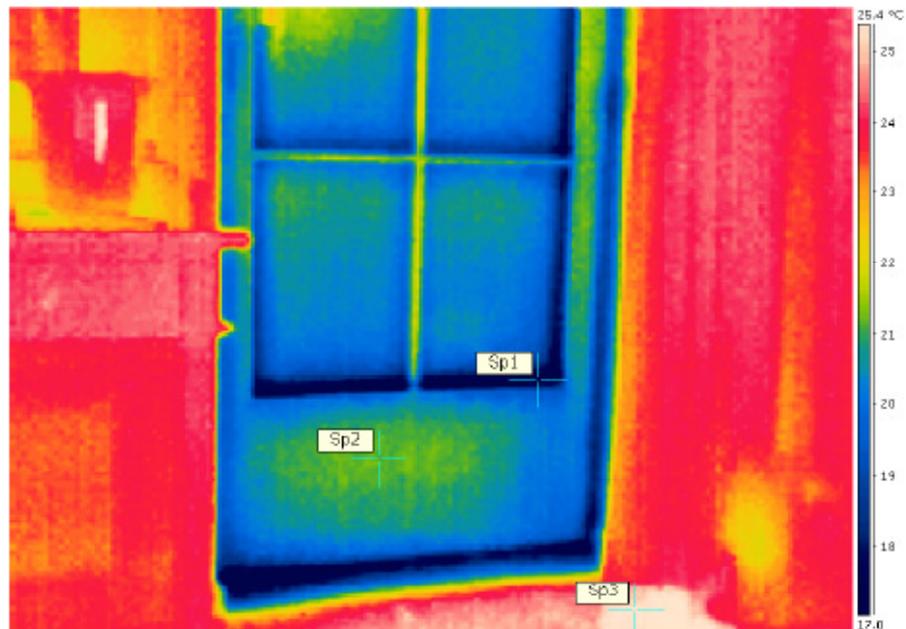


Abbildung 14 Innen-Thermographie: Balkontür Wohnzimmer EG (Haus 1)

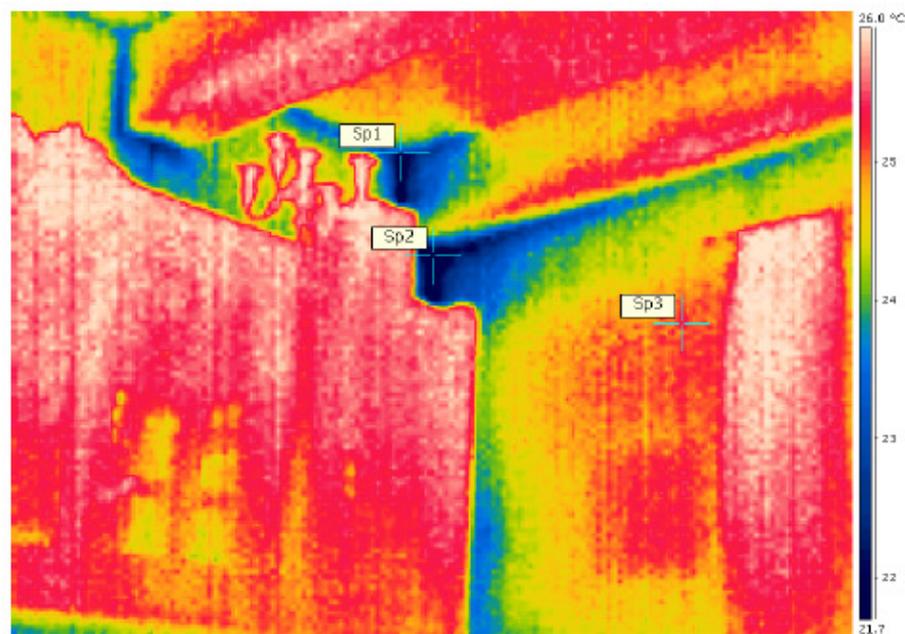


Abbildung 15 Innen-Thermographie: Anschlussbereich der Decke zwischen EG und OG im Wohnzimmer (Haus 1)

Innen-Thermographie, zur Verfügung gestellt von der Firma Ökoberatung Bertsch in Ludesch, wurde bei folgenden Randbedingungen durchgeführt:

- Außentemperatur +2°
- teilweise bewölkt, windstill
- Innentemperatur auf 24° aufgeheizt
- Während der Prüfung war der Dunstabzug auf Stufe Maximal

Opake Bauteile

Tabelle 11 Opake Bauteile (Haus 1)

		Fläche A [m ²]	Korrektur- faktor f [-]	Bestand		Saniert	
				U-Wert [W/m ² K]	A x U x F [W/K]	U-Wert [W/m ² K]	A x U x F [W/K]
AD01	Decke zu unconditioniertem geschloss. Dachraum	61,36	0,9	0,27	15,0	0,15	8,4
AW01	Außenwand Nord	7,17	1	0,31	2,2	0,31	2,2
AW02	Außenwand hinterlüftet	133,50	1	0,26	34,3	0,22	29,5
AW03	Kellerwand Oberirdisch	29,45	1	0,67	19,6	0,67	19,6
AW04	Außenwand Eingangsbereich	4,33	1	1,00	4,3	1,00	4,3
DD01	Außendecke, Wärmestrom nach unten	3,11	1	0,20	0,6	0,20	0,6
DS01	Dachschräge hinterlüftet	47,79	1	0,23	10,9	0,23	10,9
EC01	erdanlieg. Fußboden	92,99	-	0,94	-	0,94	-
EW01	erdberührte Wand (in beheizten Räumen)	50,70	-	0,69	-	0,69	-
IW01	Wand zu Garage EG	13,35	0,7	0,37	3,4	0,37	3,4
IW02	Wand zu Garage OG	7,60	0,7	0,26	1,4	0,26	1,4
IW03	Wand zu Garage KG	4,05	0,7	0,63	1,8	0,63	1,8
FE/TÜ	Fenster & Türen	29,14	1	-	43,56	-	43,56

Fenster

2 fach-Wärmeschutzglas

$$U_g = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Energiedurchlassgrad 0,62

Holz-Rahmen - Nadelholz

$$U_f = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\psi = 0,06 \text{ W/mK}$$

Tabelle 12 Fensterflächen (Haus 1)

	A [m ²]	A x U x f [W/K]
Nord	4,36	6,40
Ost	8,78	13,71
Süd	7,83	13,19
West	4,98	5,40
Dachfenster Ost	0,98	1,48
Dachfenster West	2,21	3,38
Summe	29,14	43,56

Haustechnik

Sämtliche Haustechnik befindet sich in der beheizten Zone.

Heizkessel und Warmwasserspeicher sind im Heizraum im Keller.

In der Wohnküche im Erdgeschoss steht ein Schwedenofen mit einem angenommenen Energieaufwandszahl-Faktor F_{EAZ} von 0,55.

Verteil und Abgabesystem

Für alle Leitungslängen wurden die Defaultwerte aus der [ÖNO11] herangezogen
Verhältnis Dämmdicke zu Rohrdurchmesser für alle Leitungen 2/3.

Wärmebereitstellung Bestand

Standardkessel für Erdgas von Junkers

Baujahr vor 1978

Leistung 11 kW

Kombinierte Wärmeerzeugung für Warmwasser und Raumheizung

Systemtemperaturen der Raumheizung $\theta_{VL,ne} = 40 \text{ °C}$ $\theta_{RL,ne} = 30 \text{ °C}$

Wärmeabgabe im Erd- und Obergeschoss erfolgt über Radiatoren mit Thermostatventilen.

Die Kellerräume werden über Heizkörper mit von Hand betätigten Regulierventilen erwärmt

Wärmebereitstellung Saniert

Brennwertkessel für Erdgas von Vissmann

Baujahr 2005

Leistung 4,5 – 12 kW

Kombinierte Wärmeerzeugung für Warmwasser und Raumheizung

Systemtemperaturen der Raumheizung $\theta_{VL,ne} = 40 \text{ °C}$ $\theta_{RL,ne} = 30 \text{ °C}$

Wärmeabgabe in Wohnküche und Bad im Erdgeschoss (55 m²) erfolgt über eine Fußbodenheizung mit Raumthermostat-Zonenregelung mit Zeitsteuerung und Nachtabsenkung.

Die restlichen Räume im Erd- und Obergeschoss werden einzeln über Radiatoren mit Thermostatventilen beheizt.

Die Kellerräume werden weiterhin über Heizkörper mit von Hand betätigten Regulierventilen erwärmt.

Warmwasserbereitung

Warmwasserspeicher 300 Liter

Baujahr vor 1978

4.1.2 Sanierungsstufen

Ausgangssituation:

Dichtheit des Gebäudes wurde aus einem Mittelwert zwischen dem Keller (kleine Fenster, massive damit eher dichte Bauweise, teils unterhalb der Erdoberfläche) und den teils Massiv, teils in Holz-Rahmenbau ausgeführten Obergeschossen geschätzt. Hilfreich dabei war eine zuvor ausgeführte Innen-Thermographie.

$$n_{50} = 3,5 \text{ h}^{-1}$$

Tausch des Heizkessels

Jänner 2005

Dämmen der Decke zu Dachboden
mit 10 cm Glaswolle

Jänner 2008

Sanierung der Außenwand und Kellerdecke

September 2009

Im Zuge einer Erneuerung der hinterlüfteten Fassade wurden zusätzlich 3 cm Glaswolle eingebracht.

Die Decke zum Keller wurde mit 5 - 6 cm Polystyrol gedämmt

Geschätzte Dichtheit des Gebäudes nach der Sanierung

$$n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$$

4.1.3 Verbrauchsdaten

Tabelle 13 Gas und Stromverbrauch (Haus 1)

	Gas [m ³]	Strom [kWh]
Okt.01 - Sept.02	2121	4971
Okt.02 - Sept.03	2096	4979
Okt.03 - Sept.04	1783	4920
Okt.04 - Sept.05	1808	5060
Okt.05 - Sept.06	1755	5265
Okt.06 - Sept.07	1341	5466
Okt.07 - Sept.08	1661	4868
Okt.08 - Sept.09	1590	5315
Okt.09 - April.10	1355	

Im Schwedenofen in der Wohnküche werden zwischen 0,5 – 1,5 rm gemischtes Holz pro Jahr verbrannt.

4.1.4 Nutzerverhalten

Bewohnt von 2 Personen mit einer Anwesenheit von ca. 18 Stunden am Tag.

Durchschnitt der Raumtemperaturen in den Obergeschossen beträgt ca. 19,46°C. Durch den Raumthermostat in der Wohnküche sind die Innenraumtemperaturen in diesem Bereich sehr gut bestimmbar. Bei den restlichen Räumen musste ich mich auf die Schätzungen der Bewohner verlassen. Ein Großteil der Räume wird nur bei Bedarf beheizt, wie z.B. das Musikerzimmer und das Gästezimmer, welches nur im Sommer für 2-3 Wochen benützt wird.

Im teilweise beheizten und im Winter selten benützen Keller, wird ein Sinusförmiger Temperaturverlauf zwischen 14°C im Winter und 18°C im Sommer angenommen.

Tabelle 14 Nutzerverhalten (Haus 1)

Raumtemperatur EG und OG			19,46 °C
Innere Lasten	Personen	0,53 W/m ² NF	2,61 W/m ² NF
	Geräte, Beleuchtung	2,08 W/m ² NF	
Warmwasser			4,54 kWh/m ² a

Lüftungsverhalten:

In der Wohnküche wird geraucht und daher bei Anwesenheit stündlich gelüftet.

Der Rest des Hauses wird nach Bedarf gelüftet.

Tabelle 15 Luftwechsel (Haus 1)

Luftwechsel n [h ⁻¹]												
Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Einseitige Fensterlüftung	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07
Querlüften	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
Fugenlüftung	Bestand	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
	Saniert	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Geschätzter Warmwasserbedarf ca. 2 x 25 Liter pro Tag

4.1.5 Berechnung und Vergleich mit der Wirklichkeit

Bei der angepassten Berechnung wurden die pufferraumberührenden Bauteile (Wände zu Garage) nach der Vereinfachten Rechenmethode der ÖNORM B 8110-6 berechnet.

Die Wärmeverluste der Erdberührten Bauteile wurden detailliert nach der EN ISO 13370 ermittelt. Baugrund: Kies, Sand

Als Brutto-Grundfläche wird die Fläche der beiden Obergeschoße (BGF = 188,97 m²) herangezogen.

Standardisierter Energieausweis (EAW)

Für das Außenklima und die solaren Gewinne durch die Globalstrahlung wird das Klimamodell aus der ÖNORM B 8110-5 verwendet. Auch das Nutzerprofil für Einfamilienhäuser wird aus dieser Norm entnommen.

Beim standardisierten Energieausweis werden die beiden Obergeschoße durchgehend auf 20°C erwärmt. Die Decke zum Keller wird vereinfacht als Decke zu unconditioniertem ungedämmten Keller mit einem Temperaturkorrekturfaktoren $f_{i,h} = 0,7$ berechnet.

Als Wärmebereitstellungssystem dient hier lediglich die Gasheizung, welche in der Berechnung im nicht konditionierten Keller steht.

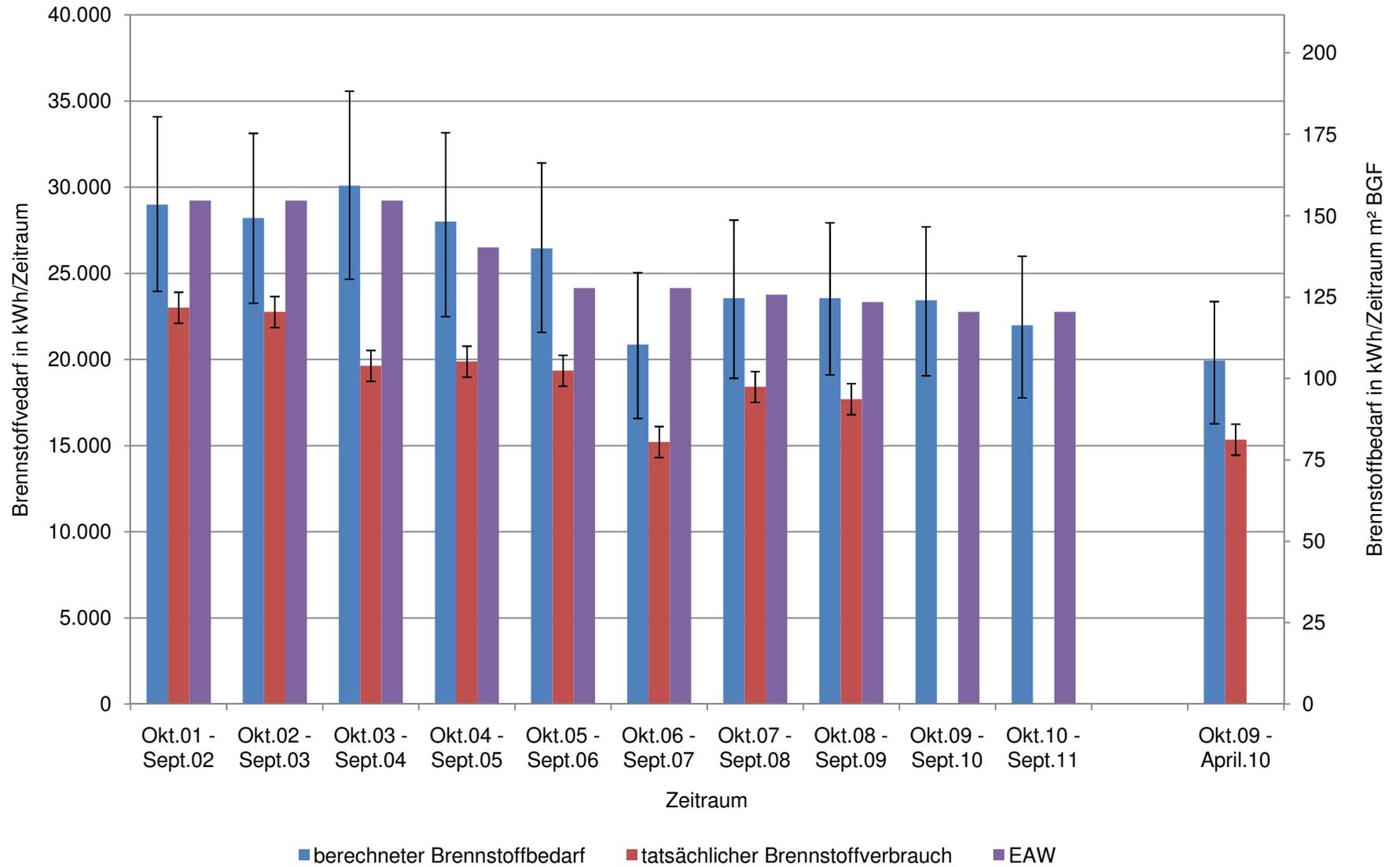


Abbildung 16 Vergleich zwischen dem berechneten Brennstoffbedarf und dem tatsächlichen Brennstoffverbrauch in kWh/Zeitraum (Haus 1)

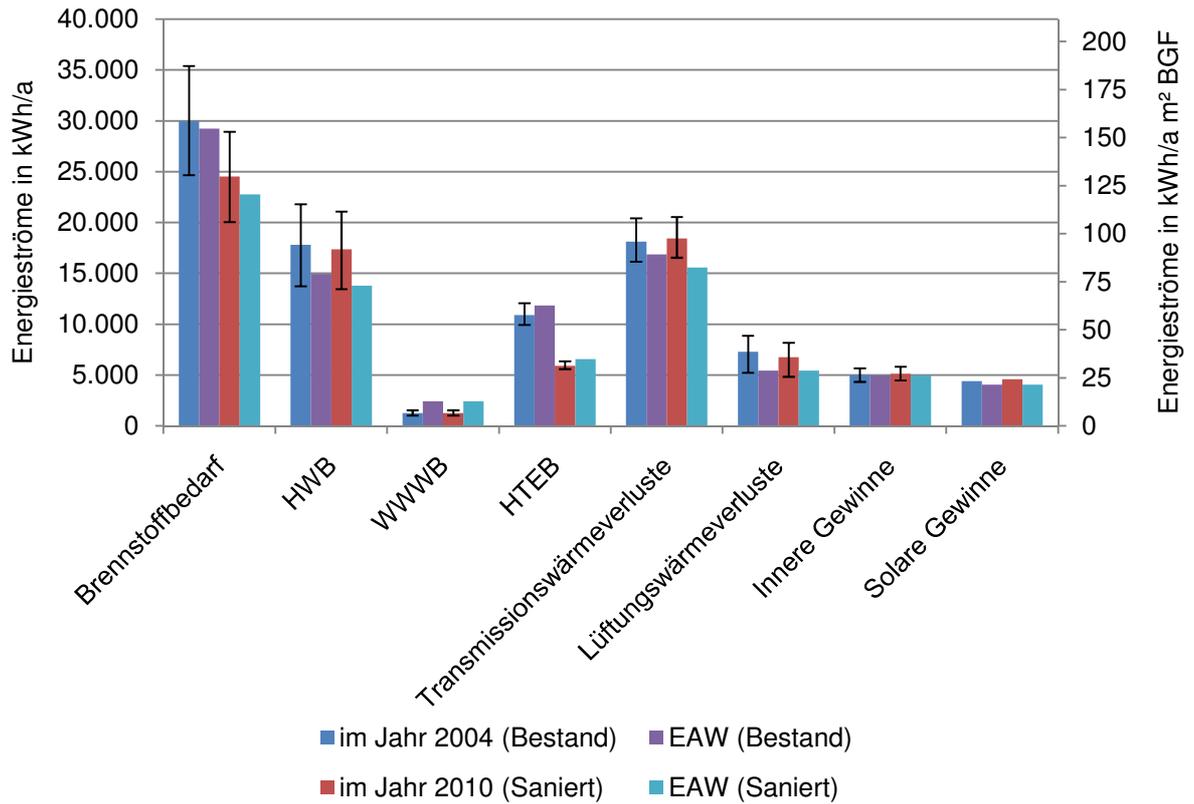


Abbildung 17 Energieströme im Vergleich in kWh/a (Haus 1)

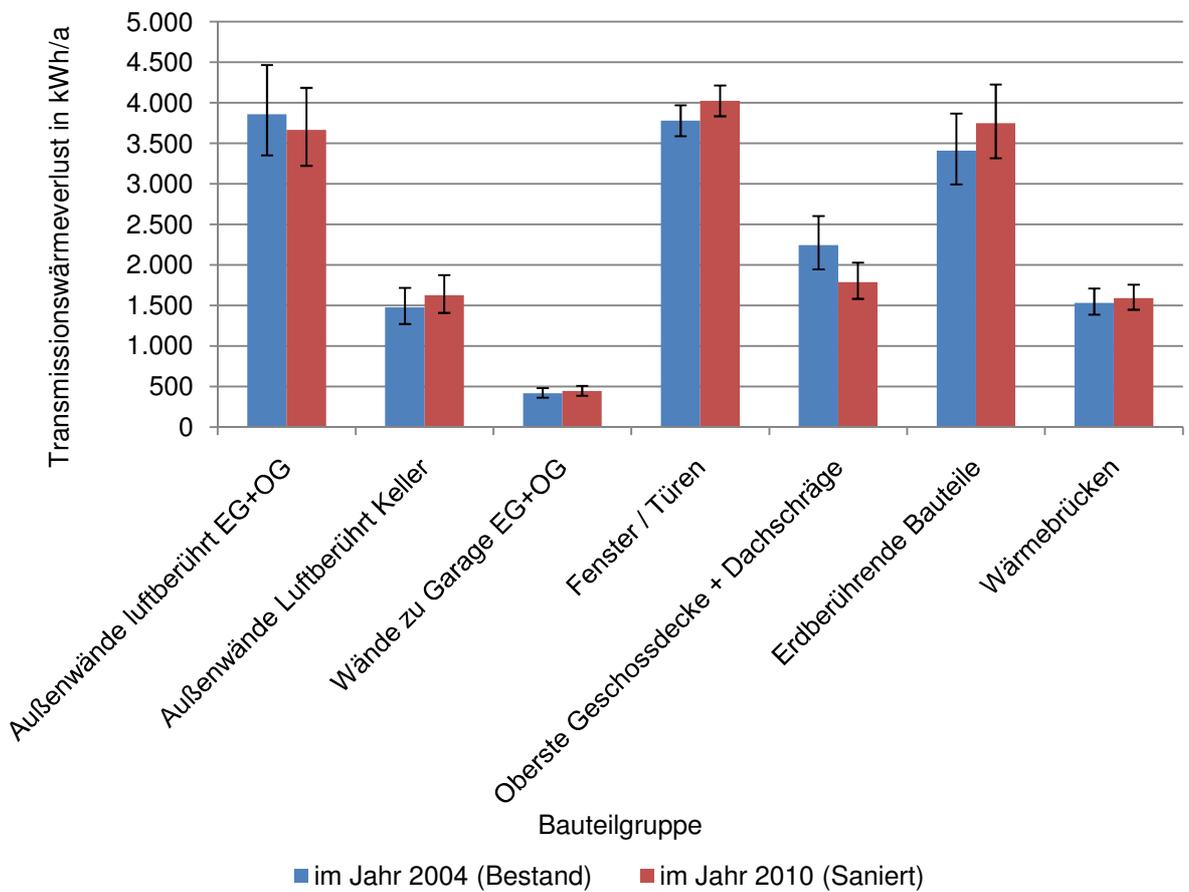


Abbildung 18 Transmissionswärmeverluste pro Jahr und Bauteilgruppe in kWh/a (Haus 1)

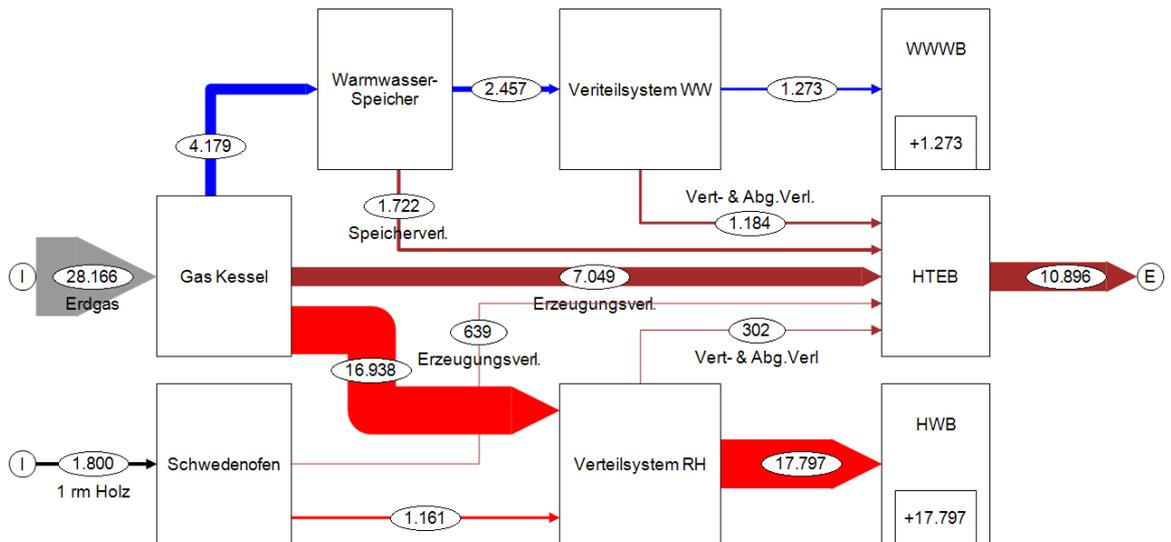


Abbildung 19 Energieflussanalyse in kWh im Jahr 2004 (Bestand)

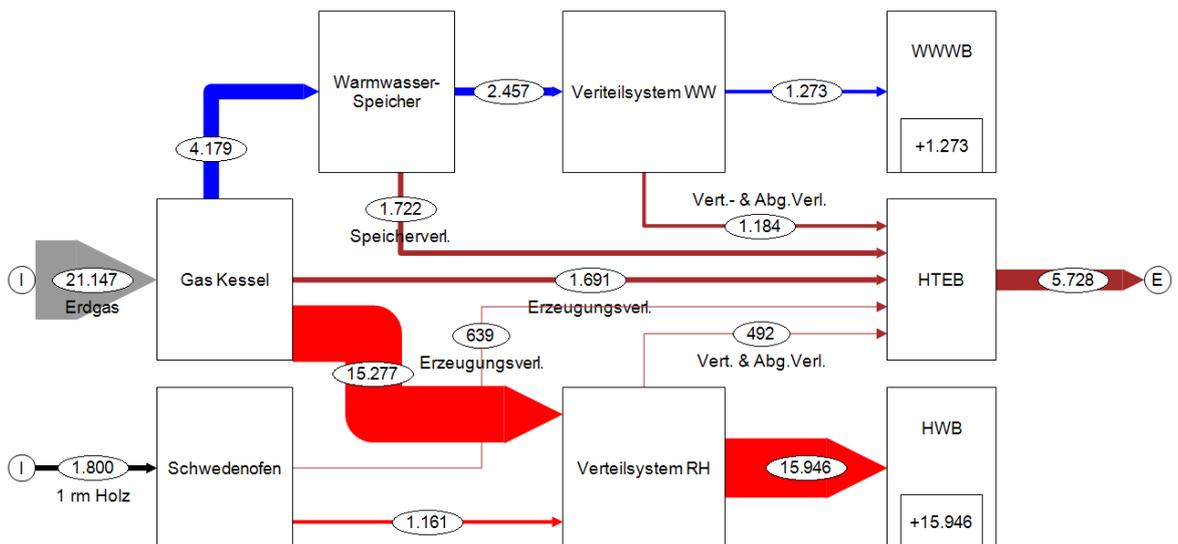


Abbildung 20 Energieflussanalyse in kWh im Jahr 2010 (Saniert)

4.1.6 Interpretation der Ergebnisse

Der Brennstoffbedarf der Berechnung liegt in etwa 30% über den wirklichen Verbrauchsdaten, dennoch teilweise im Bereich der angenommenen Unsicherheiten.

Ein Grund für die Abweichungen könnte ein zu hohes einschätzen der Innenraumtemperaturen in den selten benützten Räumen sein. Vor allem über die Außenhülle des Kellers geht bei der Berechnung sehr viel Energie verloren.

4.2 Haus 2

4.2.1 Gebäude

Einfamilienhaus Baujahr 1965

Seehöhe 636 m.ü.A.

Konditioniertes Bruttovolumen = 520,14 m³

Bruttogeschoßfläche BGF = 185,21 m²

Kompaktheit A/V = 0,79

1 nicht konditioniertes Kellergeschoss, schwere Bauweise

2 konditionierte Obergeschosse, mittelschwere Bauweise

Sonnige Lage

Das Haus wurde im Jahr 2006 von den derzeitigen Bewohnern gekauft und bezogen, dadurch ist das Wissen über die Aufbauten der einzelnen Bauteile lückenhaft.



Abbildung 21 Süd-Ost-Ansicht, Bestand zur Verfügung gestellt von Ökoberatung Bertsch
(Haus 2)



Abbildung 22 Nord-West-Ansicht, Sanierert (Haus 2)

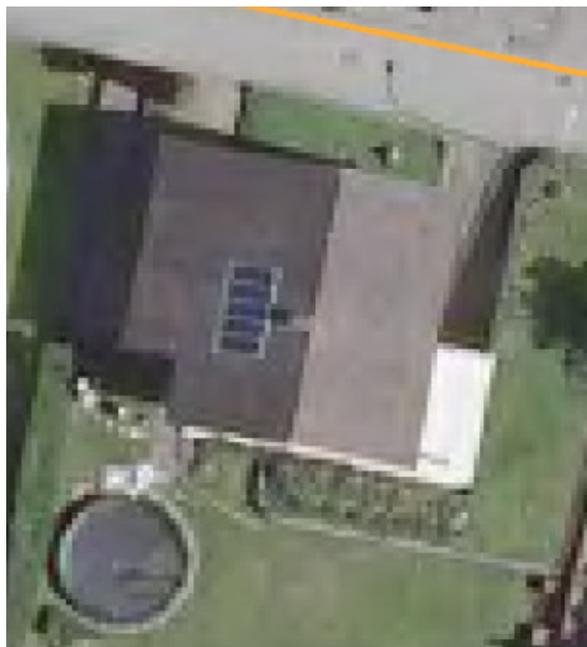
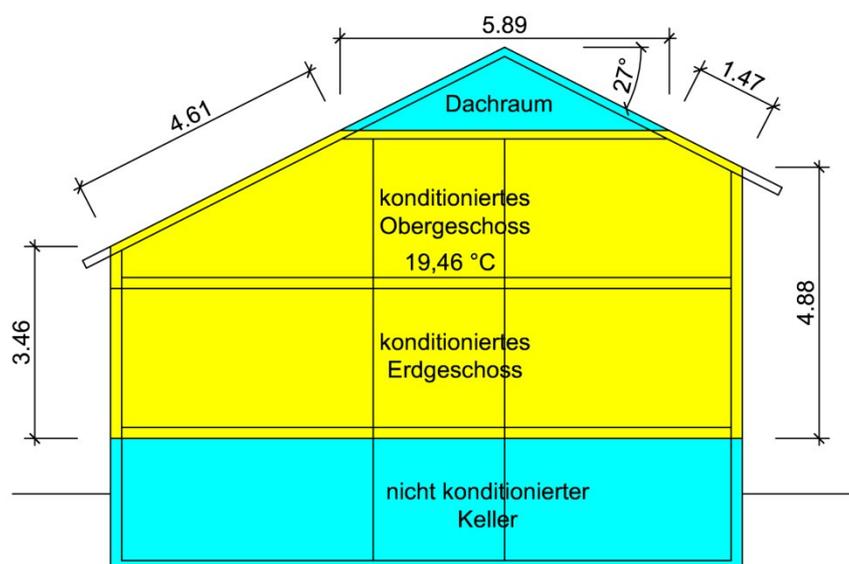
Abbildung 23 Luftbild www.voralberg.at/atlas (Haus 2)

Abbildung 24 Schnitt

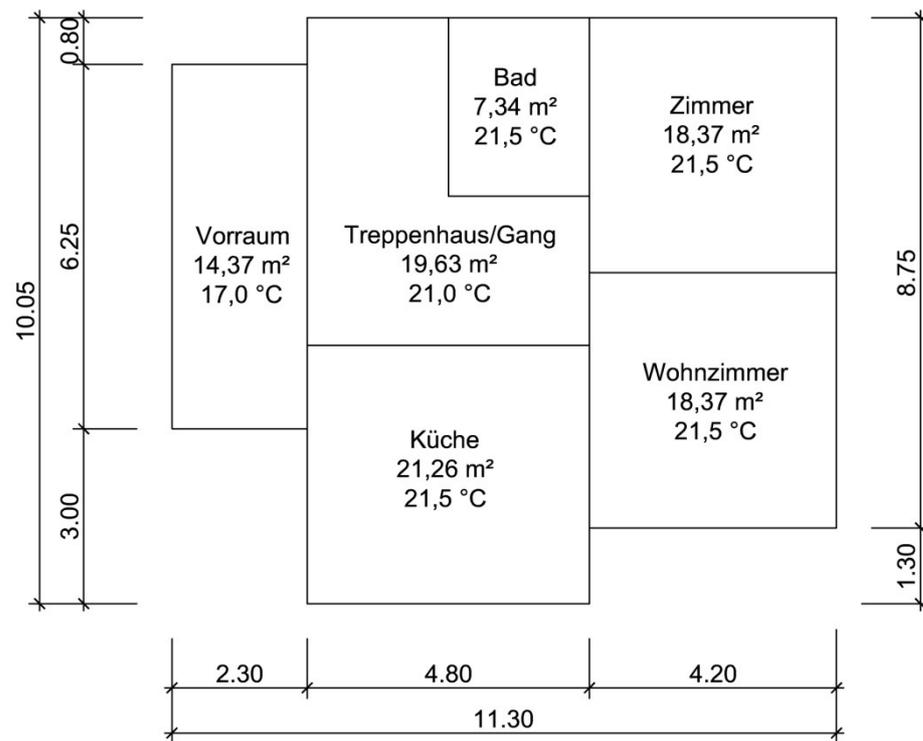


Abbildung 25 Grundriss: konditioniertes Erdgeschoss

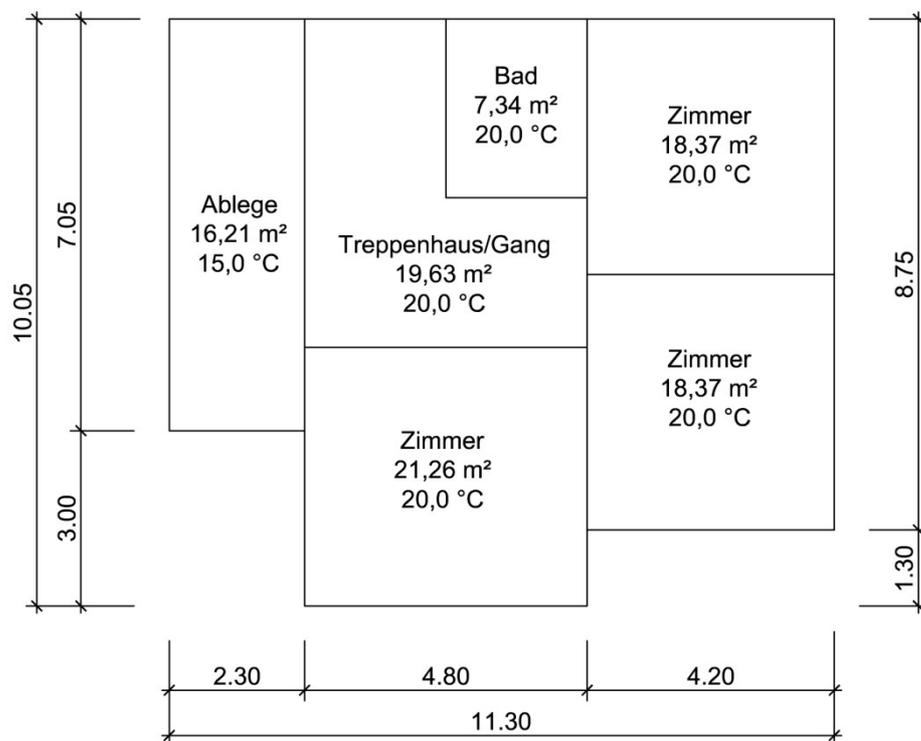


Abbildung 26 Grundriss: konditioniertes Obergeschoss

Opake Bauteile

Tabelle 16 Opake Bauteile (Haus 2)

		Fläche A [m ²]	Korrektur- faktor f [-]	Bestand		Saniert	
				U-Wert [W/m ² K]	A x U x F [W/K]	U-Wert [W/m ² K]	A x U x F [W/K]
AW01	Außenwand	175,23	1	0,58	101,6	0,12	21,0
DS01	Dachschräge hinterlüftet	51,45	1	0,28	14,4	0,28	14,4
AD01	Decke zu unkonditioniertem geschloss. Dachraum	55,40	0,9	0,86	10,0	0,20	10,0
KD01	Decke zu unkonditioniertem ungedämmten Keller	99,37	0,7	0,55	38,3	0,17	11,8
DD01	Fußboden über Eingang	1,84	1	0,58	1,1	0,12	0,2
FE/TÜ	Fenster & Türen	28,97	1	2,62	75,8	0,89	25,7

Fenster

Bestand

2-fach-Isolierglas Klarglas (6-8-6)

$$U_g = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Energiedurchlassgrad } g = 0,71$$

Holz-Rahmen Nadelholz

$$U_f = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\psi = 0,07 \text{ W/mK}$$

Saniert

3-fach-Verglasung

$$U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Energiedurchlassgrad } g = 0,53$$

Holz-Alu Rahmen

$$U_f = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\psi = 0,03 \text{ W/mK}$$

Tabelle 17 Fensterflächen (Haus 2)

	A [m ²]	Bestand A x U x f [W/K]	Saniert A x U x f [W/K]
Nord	10,25	25,38	9,76
Ost	2,75	7,43	2,39
Süd	11,97	32,26	10,16
West	4,00	10,77	3,42
Summen	28,97	75,84	25,73

Haustechnik

Sämtliche Haustechnik befindet sich im Keller in der unbeheizten Zone.

Verteil und Abgabesystem

Für alle Leitungslängen wurden die Defaultwerte aus der [ÖNO11] herangezogen.

Verhältnis Dämmdicke zu Rohrdurchmesser für alle Leitungen 2/3

Wärmebereitstellung Bestand

Standardkessel für Heizöl Extraleicht

Baujahr vor 1978

Leistung ca. 20kW

Kombinierte Wärmeerzeugung für Warmwasser und Raumheizung

Systemtemperaturen der Raumheizung $\theta_{VL,ne} = 60 \text{ °C}$ $\theta_{RL,ne} = 50 \text{ °C}$

Wärmeabgabe über Radiatoren mit Thermostatventilen

Wärmebereitstellung Saniert

Niedrigtemperaturkessel für Heizöl Extraleicht von Vissmann (Vitola 200)

Baujahr 2008

Leistung 18 – 63 kW

Kombinierte Wärmeerzeugung für Warmwasser und Raumheizung

Systemtemperaturen der Raumheizung $\theta_{VL,ne} = 40 \text{ °C}$ $\theta_{RL,ne} = 30 \text{ °C}$

Wärmeabgabe über Radiatoren mit Thermostatventilen

Warmwasserbereitung

	Bestand	Saniert
Warmwasserspeicher:	300 l	500 l
Baujahr:	vor 1978	2008

Solaranlage

Einfacher Solarkollektor mit der Fläche von 4,8 m² auf der Dachfläche Westseitig.

Dachneigung ca. 30°

Baujahr 2008

4.2.2 Sanierungsstufen

Ausgangssituation:

Geschätzte Dichtheit des Gebäudes $n_{50} = 5$
starke Zugerscheinungen bei den Fenstern

Erneuerung der Heiztechnik, Montage der Solaranlage, März 2008
Dämmen der Decke zu Dachraum mit 22 cm Glaswolle

Sanierung der Außenhülle September 2009

Dämmen der Außenwände mit 20 cm EPS-F
Dämmen der Decke zu Keller mit 12 cm EPS-F
Fenstertausch

Geschätzte Dichtheit des Gebäudes $n_{50} = 2,5$

4.2.3 Verbrauchsdaten

Der Heizölverbrauch in den Heizperioden 2006 – 2007 mit 3442 l und 2007-2008 mit 2623l konnten nur mittels Füllstand im Öltank abgeschätzt werden.

Ab dem Tausch der Heizungsanlage und der Anbringung der Solaranlage mit Differenz-Wärmemengenmesser im April 2008 erfolgte eine monatliche Aufzeichnung von Ölverbrauch und Wärmegewinne durch die Solaranlage.

Tabelle 18 Heizöl- und Stromverbrauch, Energiegewinne der Solaranlage (Haus 2)

Zeitraum	Heizöl- verbrauch [l]	Strom- verbrauch [kWh]	Energiegewi- nne der Solaranlage [kWh]	Zeitraum	Heizöl- verbrauch [l]	Strom- verbrauch [kWh]	Energiegewi- nne der Solaranlage [kWh]
Okt.06 - Sept.07	3442			Okt.09	91		272
Okt.07 - März.08	2623			Nov.09	143		77
Apr.08	256		432	Dez.09	206		2
Mai.08	10		704	Jän.10	236		11
Jun.08	13		409	Feb.10	192	322	110
Jul.08	6		539	Mär.10	166	326	495
Aug.08	4		822	Apr.10	92	273	765
Sep.08	86		307	Mai.10	57	287	555
Okt.08	161		237	Jun.10	18	287	708
Nov.08	284		30	Jul.10	7	323	827
Dez.08	417		0	Aug.10	17	342	698
Jän.09	471		2	Sep.10	26	284	474
Feb.09	376		30	Okt.10	105	260	336
Mär.09	339		298	Nov.10	181	262	66
Apr.09	92		648	Dez.10	173	277	3
Mai.09	33		704	Jän.11	297	274	16
Jun.09	6		614	Feb.11	195	274	161
Jul.09	6		809	Mär.11	156	286	508
Aug.09	1		822	Apr.11	28	132	463
Sep.09	8		307				

Für den Stromverbrauch vor dem Jänner 2001 wurde ein Durchschnittswert von 301 kWh/Monat verwendet.

4.2.4 Nutzerverhalten

3 Bewohner mit einer Anwesenheit von ca. 16 Stunden pro Tag

Die Temperaturen in der Küche konnten durch einen Innenthermometer sehr gut bestimmt werden. Die Innenraumtemperaturen der restlichen Räume wurden von den Bewohnern geschätzt.

Tabelle 19 Nutzerverhalten (Haus 2)

Raumtemperatur			19,46 °C
Innere Lasten	Personen	0,53 W/m ² NF	2,61 W/m ² NF
	Geräte, Beleuchtung	2,08 W/m ² NF	
Warmwasser			4,54 kWh/m ² a

Lüftungsverhalten, 10 – 15 min Stoßlüften durchs ganze Haus in der Früh und bei Bedarf einseitige Fensterlüftung.

Tabelle 20 Luftwechsel (Haus 2)

		Luftwechselrate n [h^{-1}]											
Monat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Einseitige Fensterlüftung		0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08
Querlüften		0,09	0,08	0,09	0,15	0,18	0,26	0,23	0,22	0,21	0,11	0,11	0,10
Fugenlüftung	Bestand	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Saniert	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

4.2.5 Berechnung und Vergleich mit der Wirklichkeit

Bei der Berechnung wurden die pufferaumberührenden Bauteile nach der vereinfachten Rechenmethode nach ÖNORM B 8110-6 berechnet.

Standardisierter Energieausweis (EAW)

Für das Außenklima und die solaren Gewinne durch die Globalstrahlung wird das Klimamodell aus der ÖNORM B 8110-5 verwendet. Auch das Nutzerprofil für Einfamilienhäuser wird aus dieser Norm entnommen. Die beiden Obergeschosse werden dabei durchgehend auf 20 °C erwärmt

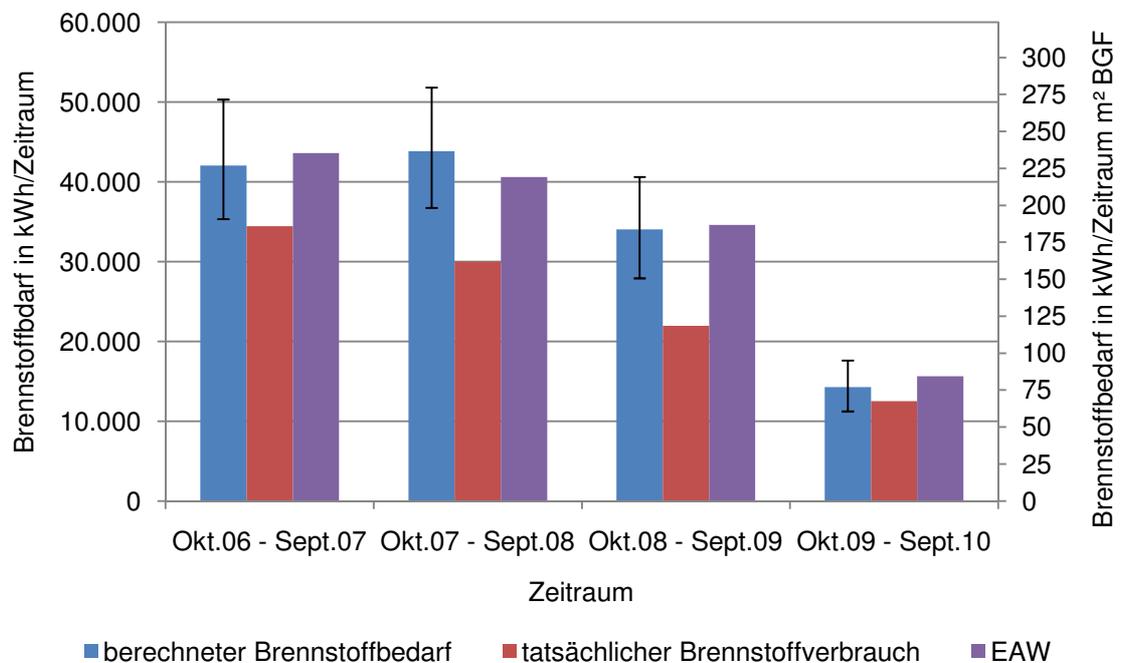


Abbildung 27 Vergleich zwischen dem berechneten Brennstoffbedarf und dem tatsächlichen Brennstoffverbrauch in kWh/Zeitraum (Haus 2)

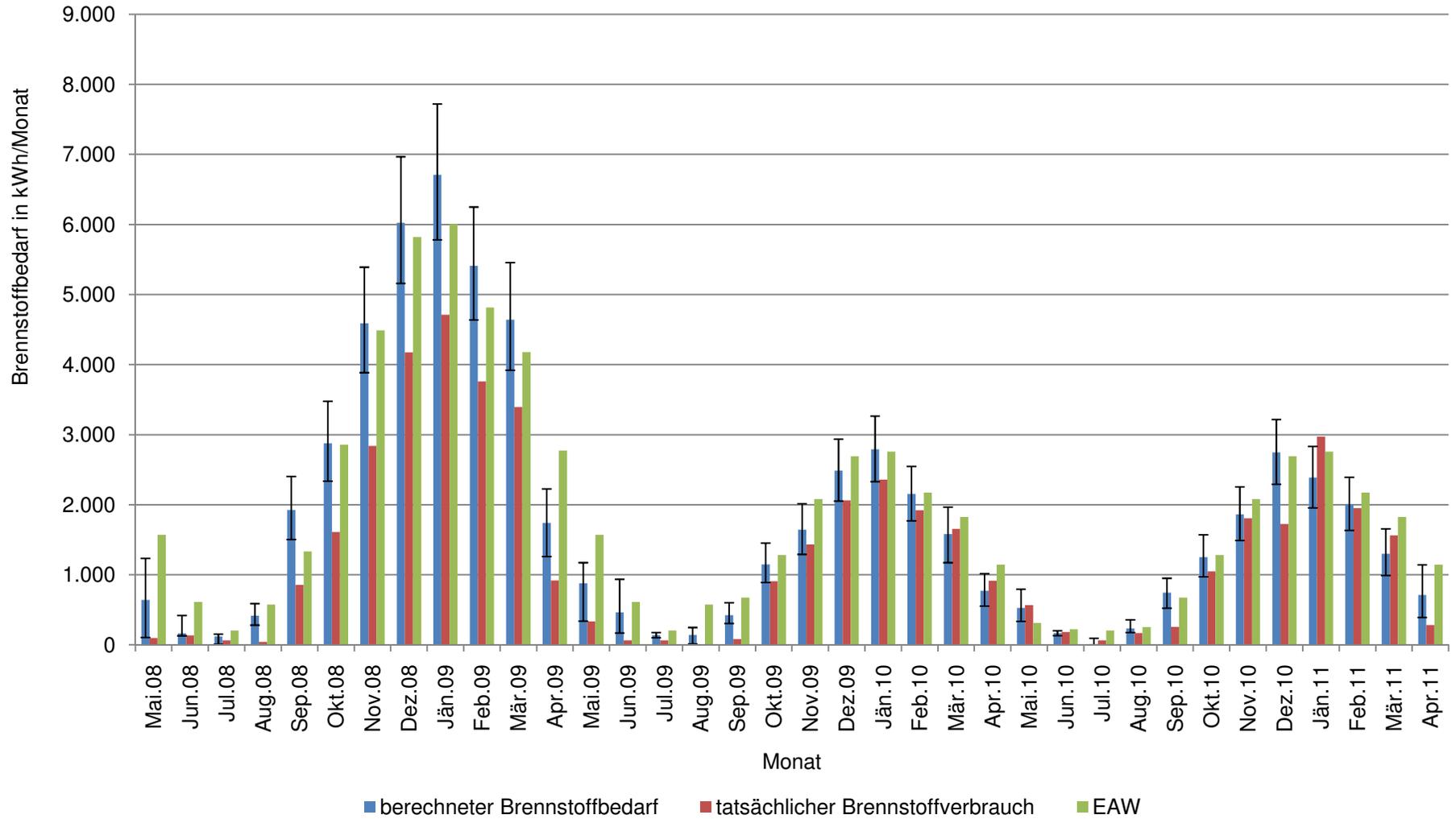


Abbildung 28 Vergleich zwischen dem berechneten Brennstoffbedarf und dem tatsächlichen Brennstoffverbrauch in kWh/Monat (Haus 2)

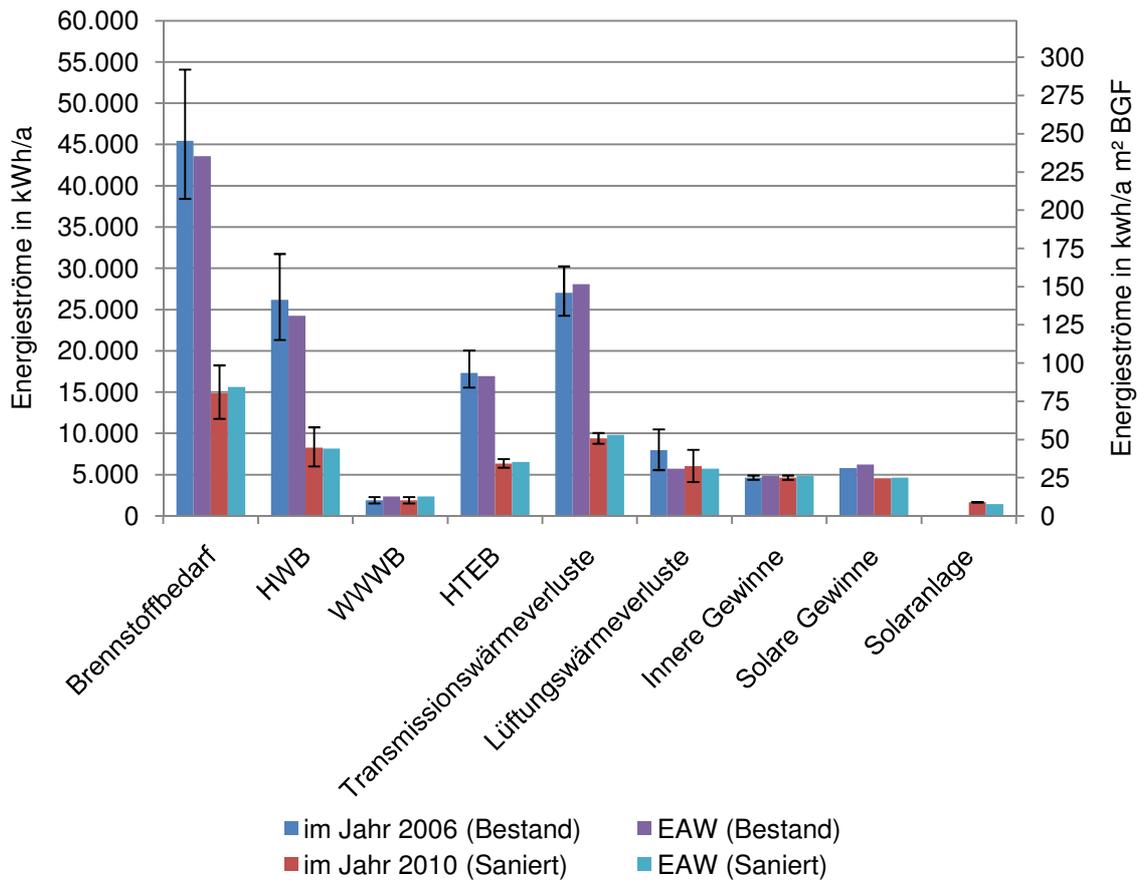


Abbildung 29 Energieströme im Vergleich in kWh/a (Haus 1)

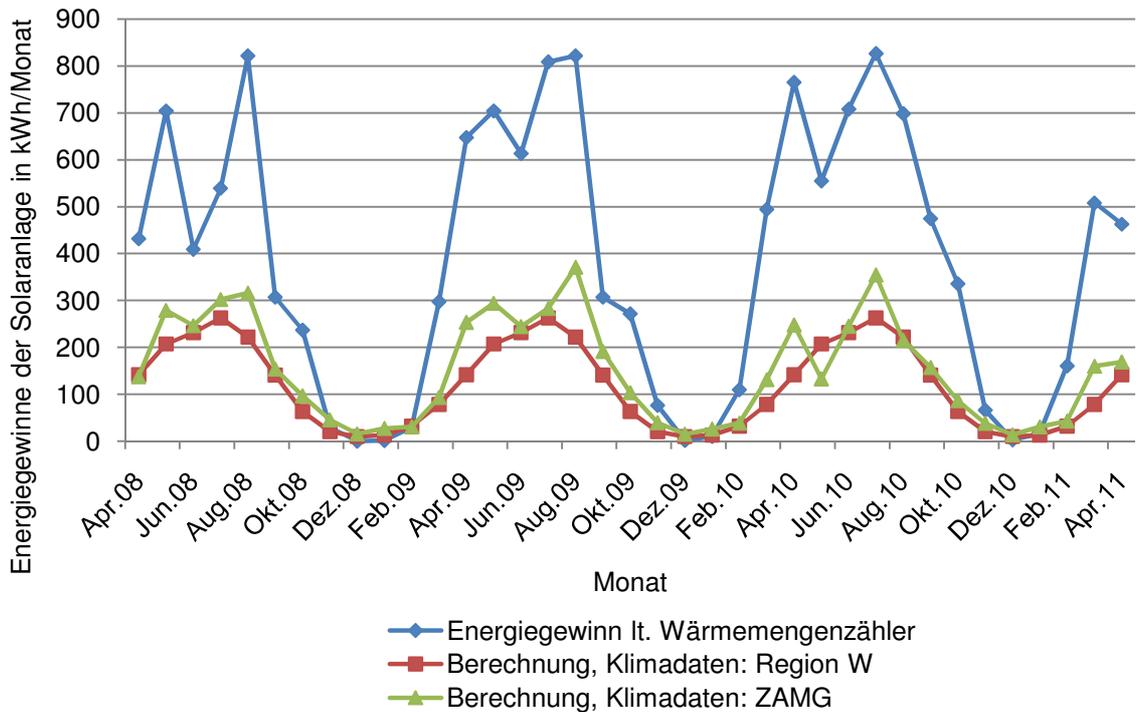


Abbildung 30 Energiegewinne der Solaranlage in kWh/Monat (Haus 1)

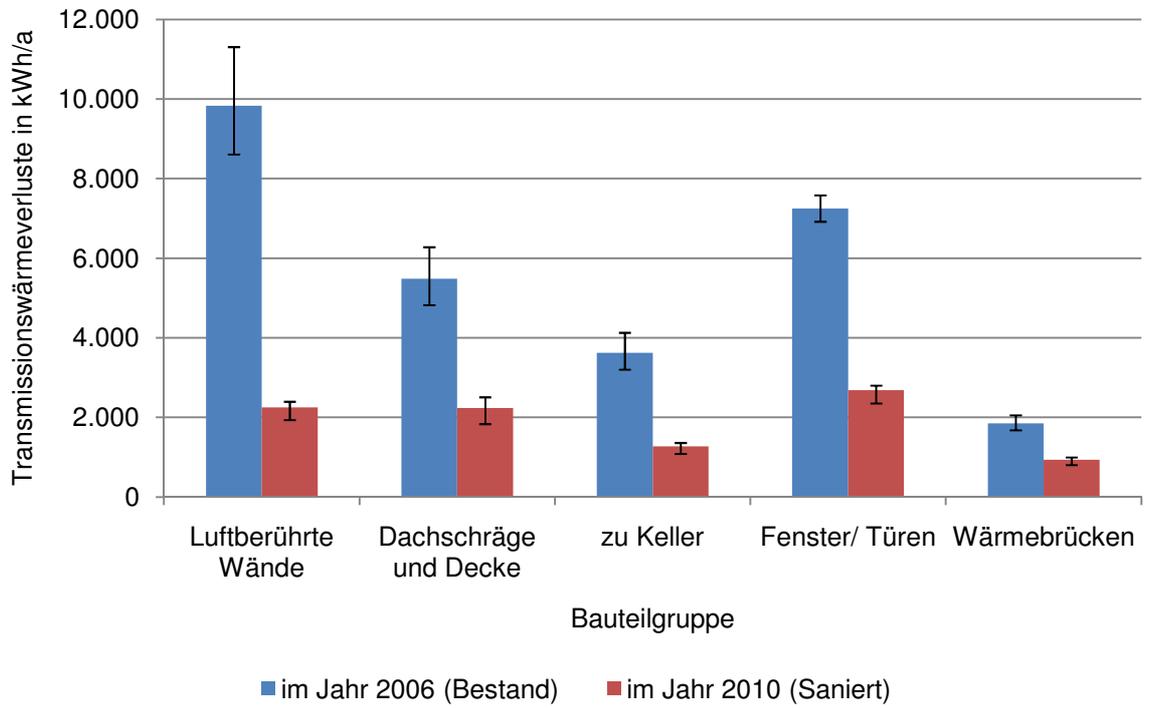


Abbildung 31 Transmissionswärmeverluste pro Jahr und Bauteilgruppe in kWh/a (Haus 2)

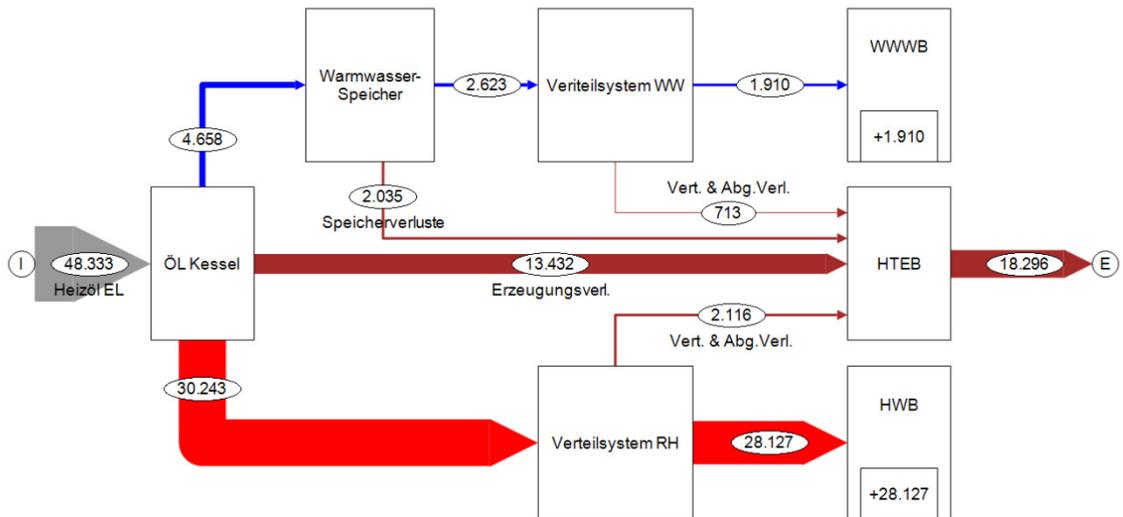


Abbildung 32 Energieflussanalyse in kWh im Jahr 2004 (Bestand)

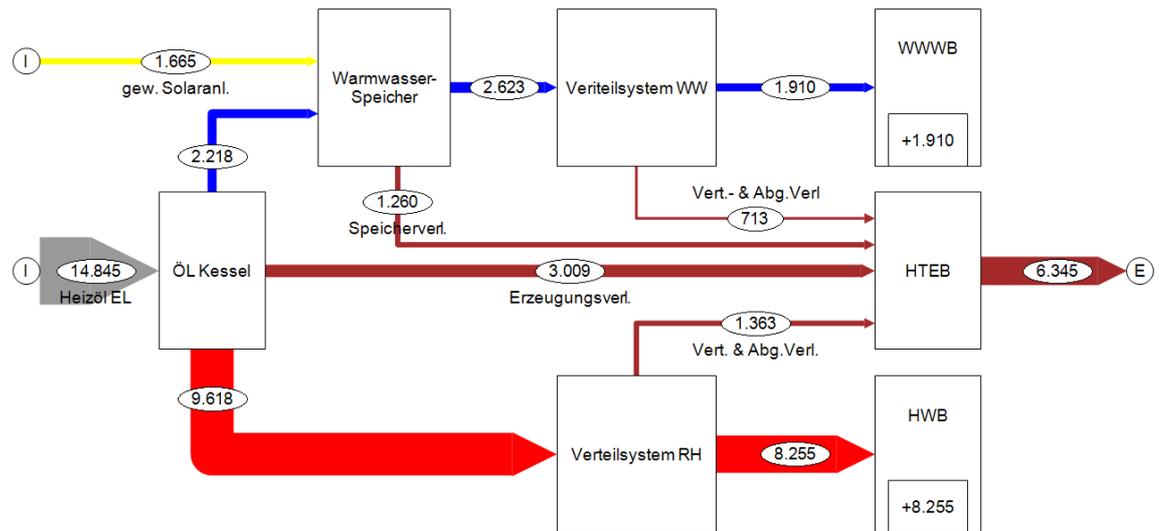


Abbildung 33 Energieflussanalyse in kWh im Jahr 2010 (Saniert)

4.2.6 Interpretation der Ergebnisse

Zu den Werten vor der März 2008 ist es schwer eine Aussage zu treffen, da der reale Brennstoffverbrauch nicht genau ermittelt werden konnte.

Zeitraum zwischen März 2008 bis zur Fertigstellung der Thermischen Sanierung im Oktober 2008:

Der Verbrauch wird um etwa 40% überschätzt. Mögliche Gründe dafür sind eine zu geringe Einschätzung der Gebäudedichtheit, eine Unterschätzung der Wärmeleitfähigkeit der Bauteile der Gebäudehülle oder Reboundeffekte.

Ökonomischer Reboundeffekt

Dieser tritt auf, wenn ein Nutzer aufgrund der Verbilligung mehr Energiedienstleistung konsumiert und damit mögliche Einsparungen reduziert. [BIE05] Um diesen Effekt einzuberechnen braucht man die Innentemperaturen der einzelnen Räume vor den Sanierungsarbeiten. Bereiche wie der Vorraum, Ablege oder die selten benützten Zimmer im Obergeschoss wurden eventuell nicht durchgehend auf dem derzeitig berechneten Temperaturniveau gehalten.

Technischer Reboundeffekt

Technische Reboundeffekte resultieren aus einer suboptimalen Abstimmung von Heizsystem und technischer Gebäudeeffizienz. Wird ein Heizsystem unverändert in einem Sanierungsprojekt belassen, dessen Dimensionierung auf den Ausgangszustand des Gebäudes abgestimmt war, so ist nach der Sanierung durch ständigen Teillastbetrieb ein geringerer Heizungswirkungsgrad zu erwarten. [BIE05] Im Bereich der Wärmebereitstellung wurde dieser Effekt durch die Berechnung des Kesselwirkungsgrad nach ÖNORM H 5050 berücksichtigt.

Heizlast	Bestand	12 kW
	Saniert	4,5 kW
Kesselleistung		18 – 63 kW

Bei der Berechnung von Abgabe und Verteilverlusten wurden jedoch keine Änderungen zwischen den Sanierungsstufen vorgenommen.

Nach der Sanierung stimmen die Berechnung und der tatsächliche Brennstoffverbrauch sehr gut überein. Durch die Verringerung des Transmissionsleitwerts wird auch die Zeitkonstante des Gebäudes erhöht und die Temperaturen im Innenraum unterliegen geringeren Schwankungen.

Das thermische Verhalten der Sanierten Bauteile wird hauptsächlich durch die neu aufgebrachte Wärmedämmung bestimmt. Dadurch werden die Unsicherheiten in den Aufbauten der Bestandsbauteile deutlich verringert.

Für die großen Unterschiede zwischen den gemessenen Energiegewinnen der Solaranlage und der Berechnung konnte keine plausible Erklärung gefunden werden. Der berechnete Wärmegewinn der Solaranlage beträgt im Schnitt lediglich 40% der, über einen Differenz-Wärmemengenzählers, gemessenen Gewinne. Der Warmwasserspeicher kann sich laut den Angaben der Bewohner in den Sommermonaten auf bis zu 85°C erwärmt.

4.3 Haus 3

4.3.1 Gebäude

Einfamilienhaus Baujahr 1957

Seehöhe 540 m.ü.A.

Konditioniertes Bruttovolumen 455,84 m³

Brutto – Grundfläche = 164,36 m²

Kompaktheit A/V = 0,82

1 nicht konditioniertes Kellergeschoss, schwere Bauweise

2 Obergeschosse, mittelschwere Bauweise BGF = 164,36 m²

 Konditioniertes Erdgeschoss BGF = 83,68 m²

 Nicht konditioniertes Obergeschoss BGF = 80,68 m²

Sonnige Lage

Baugrund: Kies, Sand



Abbildung 34 Süd-West-Ansicht (Haus 3)

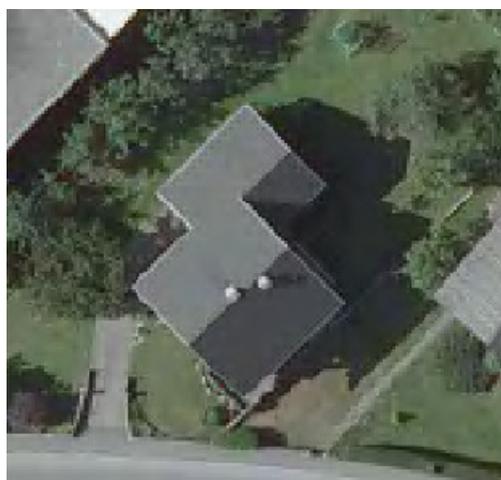


Abbildung 35 Luftbild www.vorarlberg.at/atlas (Haus 3)

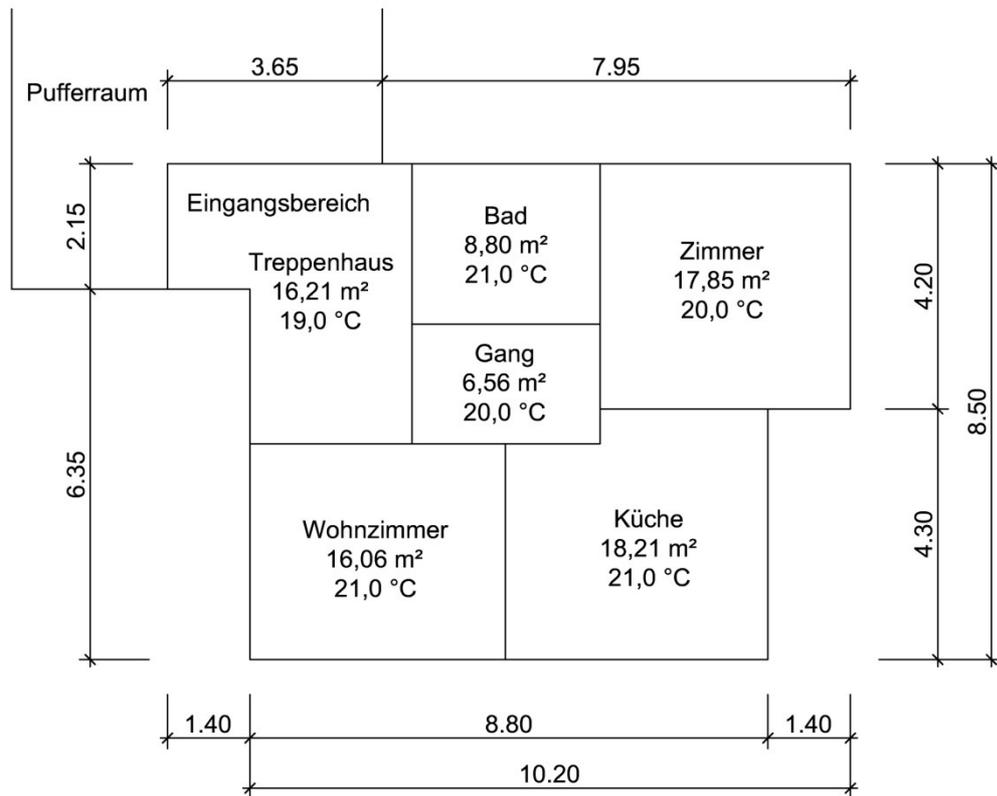


Abbildung 36 Grundriss: konditioniertes Erdgeschoss

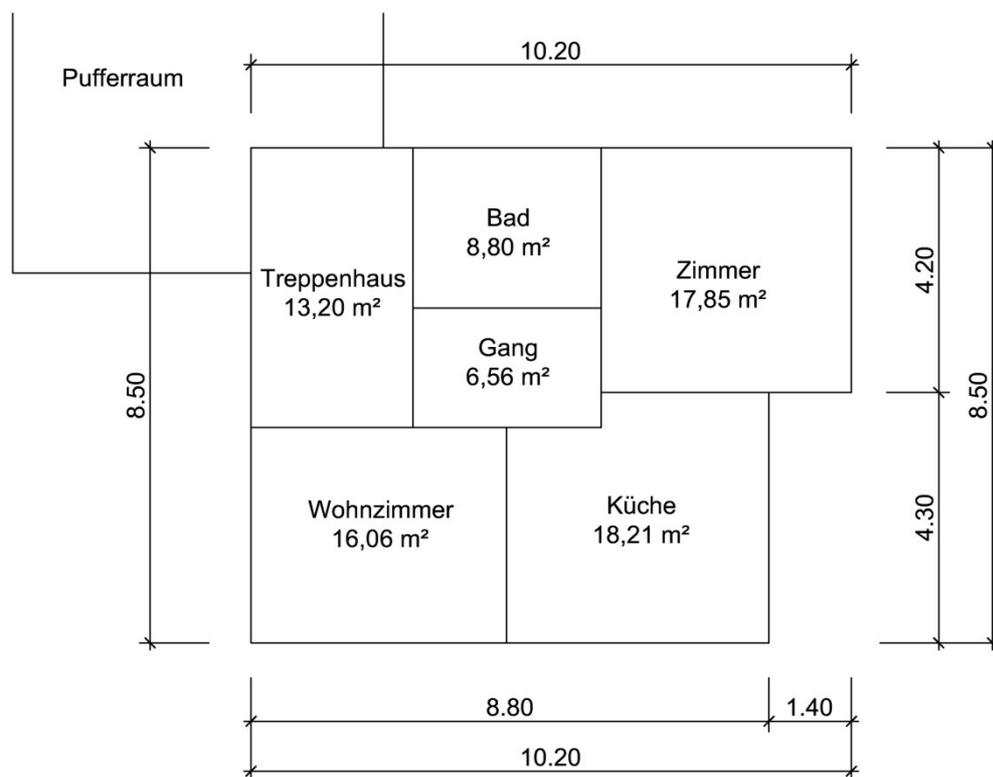


Abbildung 37 Grundriss: unkonditioniertes Obergeschoss

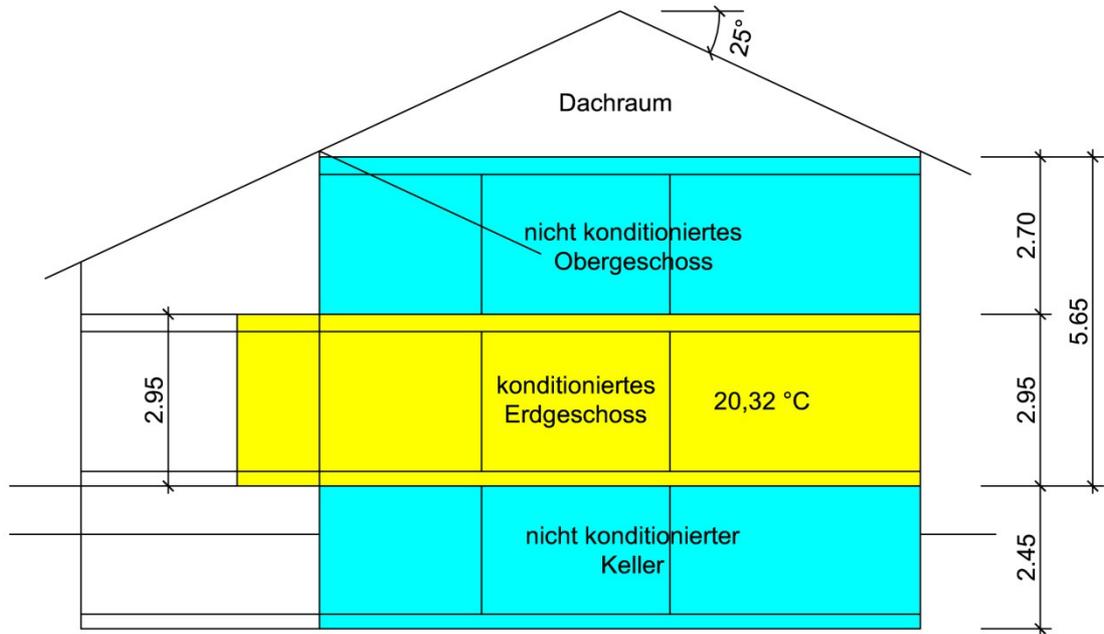


Abbildung 38 Schnitt

Opake Bauteile

Tabelle 21 Opake Bauteile (Haus 3)

	Bauteil	Fläche A	Korrekturfaktor f	Bestand		Saniert	
				U-Wert	A x U x F	U-Wert	A x U x F
		[m ²]	[-]	[W/m ² K]	[W/K]	[W/m ² K]	[W/K]
OG	AW01 Außenwand	79,07	-	0,60	-	0,13	-
	AD01 Decke zu unconditioniertem gschloss. Dachraum	80,68	-	0,25	-	0,13	-
	AW02 Wand zu Puffer	11,705	-	0,79	-	0,79	-
EG	AW01 Außenwand	74,64	1	0,60	44,9	0,13	10,0
	ZW01 Decke zu OG	83,68	-	0,75	-	0,75	-
	KD01 Decke zu unconditioniertem ungedämmten Keller	83,68	-	0,68	-	0,19	-
	ZW01 Wand zu Garage	17,11	0,7	0,79	9,4	0,79	9,4
Keller	AW02 Wand oberirdisch	31,042	-	1,20	-	0,15	-
	EW01 Wand unterirdisch	60,588	-	1,26	-	1,26	-
	EC01 Boden	80,68	-	4,13	-	4,13	-

Fenster

2 fach-Wärmeschutzglas

$$U_g = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Energiedurchlassgrad 0,63

Internorm Kunststofffenster

$$U_f = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\psi = 0,046 \text{ W/mK}$$

Tabelle 22 Fensterflächen (Haus 3)

	A [m ²]	A x U x f [W/K]
NO	1,04	1,40
SO	3,38	4,50
SW	5,07	6,54
NW	2,72	3,50
Summen	12,21	15,94

Haustechnik

Gas-Kessel und Warmwasserspeicher befinden sich im unconditionierten Keller.

Verteil und Abgabesystem

Für alle Leitungslängen wurden die Defaultwerte aus der [ÖNO11] herangezogen.

Verhältnis Dämmdicke zu Rohrdurchmesser für alle Leitungen 2/3

Wärmebereitstellung

Brennwertkessel von Junkers

Baujahr 2001

Leistung 7 – 25 kW

Systemtemperaturen der Raumheizung $\theta_{VL,ne} = 40^\circ\text{C}$ $\theta_{RL,ne} = 30^\circ\text{C}$

Wärmeabgabe über Radiatoren mit Thermostatventilen

Zusätzlich werden Wohnzimmer, Küche und Flur über einen modernen Kachelofen beheizt. Die Überwärme wird für die Erwärmung des Warmwassers verwendet. Energieaufwandszahl-Faktor f_{EAZ} von 0,55

Warmwasser

Warmwasserspeicher 400 Liter

Baujahr 2001

Solaranlage

Solaranlage von ca 10 m² auf der Süd-Ost Seite der Dachflächen

30° Neigung

4.3.2 Sanierungsstufen

Ausgangssituation:

Dichtheit des Gebäudes $n_{50} = 3,5$

1998 neue Fenster, Massive Bauweise

Sanierung Außenhülle, Montage der Solaranlage September 2010

Dämmen der Außenwand mit 18 cm EPS-F

Dämmen der Decke zu Keller mit 12 cm EPS-F

Dämmen der Decke zu Dachraum mit 12 cm Heralan-FP

Dichtheit des Gebäudes $n_{50} = 2,5$

4.3.3 Verbrauchsdaten

Für die Hochrechnungen des tatsächlichen Brennstoffbedarfs wurden von den Hausbesitzern die alten Gasrechnungen von Oktober 2001 bis September 2010 (ohne der Heizsaison von Oktober 2006 bis September 2007) zur Verfügung gestellt.

Der Holzverbrauch für den Kachelofen vor der Sanierung wird mit ca 7-10 rm pro Jahr geschätzt. Die Qualität des Brennholz unterliegt je nach seiner Herkunft sehr großen Schwankungen (von alten Paletten des Nachbarn bis hin zu gut gelagertem Hartholz). Im Zeitraum zwischen 31.12.2010 und 18.4.2011 wurde in etwa 1 – 2 rm gemischtes Holz verheizt.

Ungefähren Stromverbrauch laut Schätzung des Stromanbieters in der Höhe von 3900 kWh

Tabelle 23 Heizöl- und Stromverbrauch, Energiegewinne der Solaranlage (Haus 3)

	Erdgas [kWh]
Okt.01 - Sept.02	9668
Okt.02 - Sept.03	8479
Okt.03 - Sept.04	9748
Okt.04 - Sept.05	10161
Okt.05 - Sept.06	9261
Okt.06 - Sept.07	
Okt.07 - Sept.08	8856
Okt.08 - Sept.09	7269
Okt.09 - Sept.10	8517
31.12.10 - 18.4.11	2420

4.3.4 Nutzerverhalten

2 Bewohner mit einer Anwesenheit von ca. 18 Stunden pro Tag

Thermometer in der Küche. Rest geschätzt.

Das Obergeschoss steht seit mehreren Jahren leer und wird nicht beheizt.

Im Herbst 2010 waren noch nicht alle Ausbauarbeiten abgeschlossen, deswegen hat zu dieser Zeit keine herkömmliche Nutzung des Gebäudes stattgefunden. Durch die Ablesungen des Gaszählers am 31.12.2010 und am 18.4.2011 konnten zumindest diese Verbrauchswerte für den Vergleich mit der Bedarfsrechnung verwendet werden.

Warmwasserverbrauch ca. 30 l/d

Tabelle 24 Nutzerverhalten bezogen auf EG(Haus 3)

Raumtemperatur EG			20,32 °C
Innere Lasten	Personen	1,79 W/m ² NF	5,89 W/m ² NF
	Geräte, Beleuchtung	4,09 W/m ² NF	
Warmwasser			18,26 kWh/m ² a

Lüftungsverhalten, ca. 12 min Stoßlüften durch das ganze Haus in der Früh, und bei Bedarf einseitige Fensterlüftung

Tabelle 25 Fensterluftwechsel (Haus 3)

		Fenster - Luftwechsel n [h^{-1}]											
Monat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
OG	Querlüften	0,06	0,05	0,06	0,10	0,13	0,19	0,17	0,17	0,14	0,07	0,07	0,07
EG	Einseitiges Fensterlüften	0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,09	0,10	0,08	0,08	0,06	0,06
	Querlüften	0,08	0,07	0,08	0,13	0,16	0,23	0,21	0,19	0,18	0,10	0,09	0,09

Für die Fugenlüftung wurde der Luftwechsel nach folgender Tabelle aufgeteilt

Tabelle 26 Fugenluftwechsel (Haus 3)

				Luftwechsel n [h^{-1}]				
				Bestand		Saniert		
Fugenlüftung	OG	OG zu Außenluft	25%	0,40	0,30	0,35	0,26	
		EG zu OG			0,10		0,09	
	EG	EG zu Außenluft	50%	0,40	0,20	0,35	0,18	
		EG zu Keller	25%		0,10		0,09	
	Keller	Keller zu Außenluft			0,30	0,20	0,30	0,21

4.3.5 Berechnung und Vergleich mit der Wirklichkeit

Nur das Erdgeschoss wird als konditionierte Zone berechnet (BGF = 83,68 m²)

Die pufferraumberührenden Bauteile (Boden zu Keller und Decke zu Obergeschoss) werden detailliert nach der EN ISO 13789 berechnet. Dabei ergeben sich folgende Temperaturkorrekturfaktoren $f_{i,h}$:

Tabelle 27 Temperaturkorrekturfaktoren der pufferraumberührenden Bauteile

	im Jahr 2006 (Bestand)	im Jahr 2010 (Saniert)
Decke zu OG	0,615	0,443
Decke zu Keller	0,683	0,866

Die Wände zur Garage werden vereinfacht mit einem Temperaturkorrekturfaktor von $f_{i,h} = 0,7$ berechnet.

Holzverbrauch als Eingangsdaten für die Berechnung des Heizenergiebedarfs:

Bestand 7 m/Jahr

Saniert 2,5 m/Jahr

Standardisierter Energieausweis (EAW)

Für das Außenklima und die solaren Gewinne durch die Globalstrahlung wird das Klimamodell aus der ÖNORM B 8110-5 verwendet. Auch das Nutzerprofil für Einfamilienhäuser wird aus dieser Norm entnommen.

Beim Standardisierten Energieausweis werden die beiden Obergeschoße durchgehend auf 20 °C erwärmt. Die Decke zum Keller wird vereinfacht als Decke zu unkonditioniertem ungedämmten Keller mit einem Temperaturkorrekturfaktoren $f_{i,h} = 0,7$ berechnet.

Als Wärmebereitstellungssystem dient hier lediglich die Gasheizung.

Für die spezifischen Energieströme in den folgenden Abbildungen wurde die Flächensumme beider Obergeschosse verwendet $BGF = 164,36 \text{ m}^2$

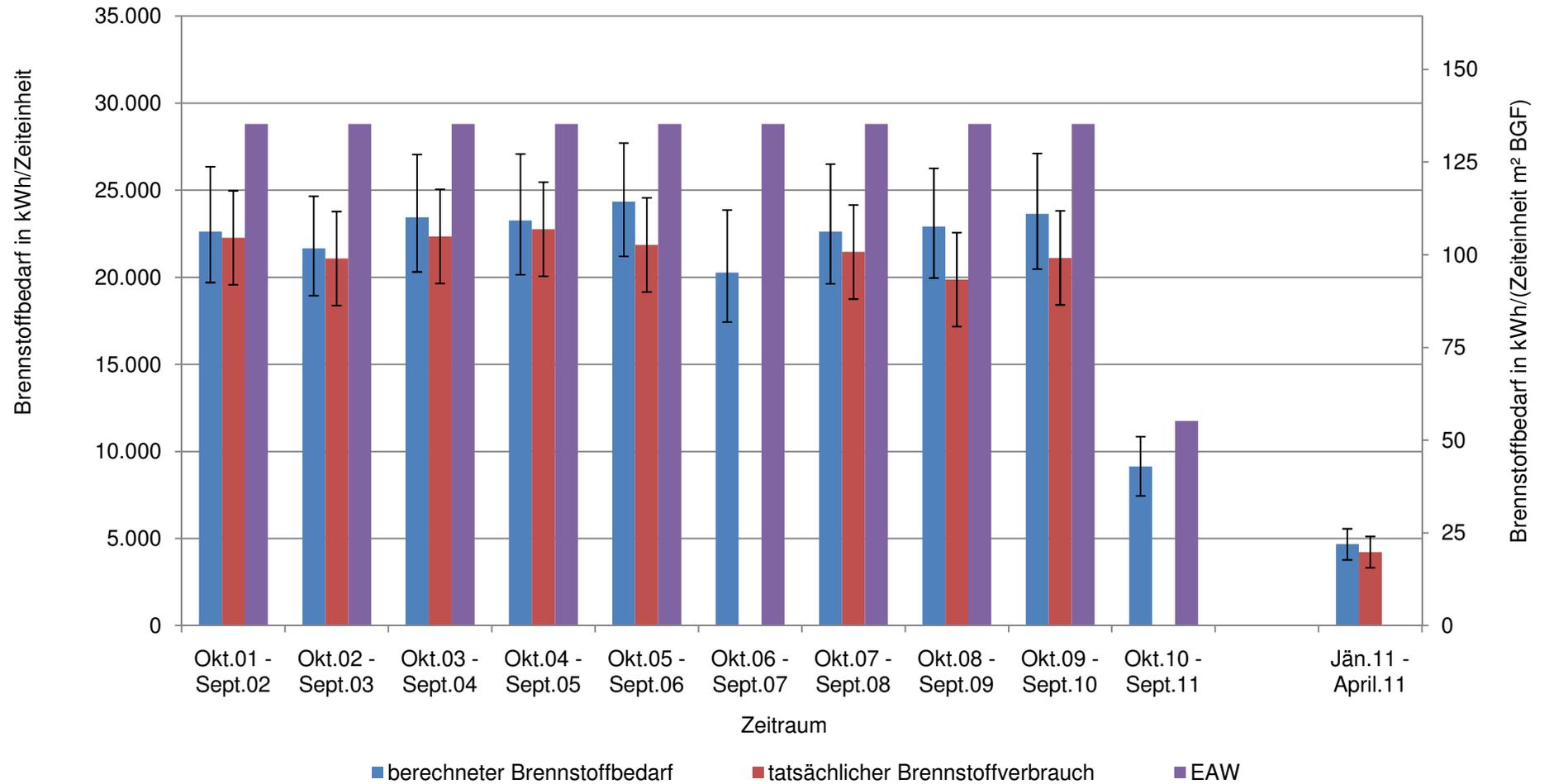


Abbildung 39 Vergleich zwischen dem berechneten Brennstoffbedarf und dem tatsächlichen Brennstoffverbrauch in kWh/Zeitraum (Haus 3)

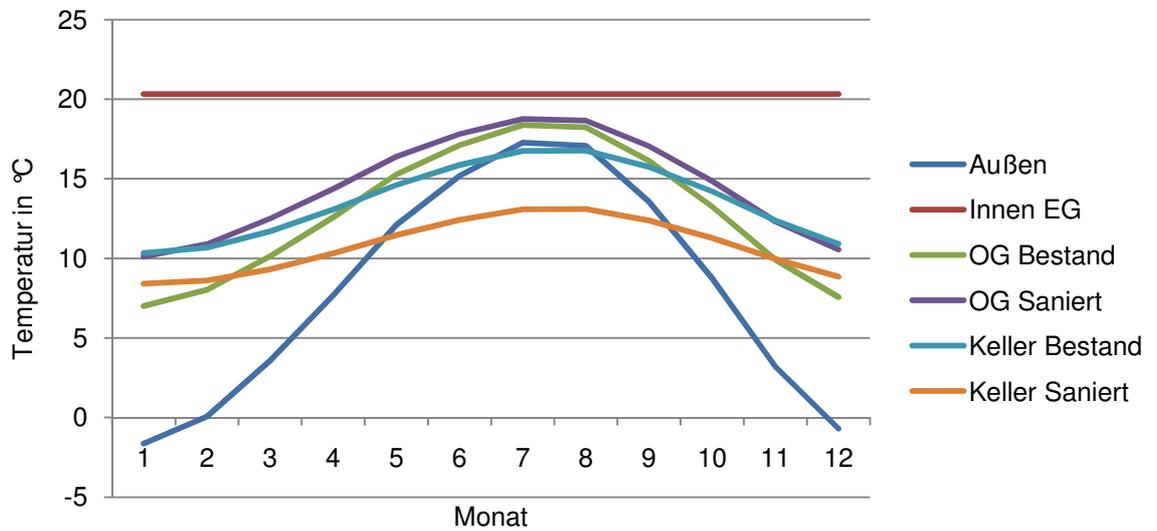


Abbildung 40 Berechnete Mindesttemperaturen für das Winterverhalten in den einzelnen Zonen (Klimadaten: Region W)

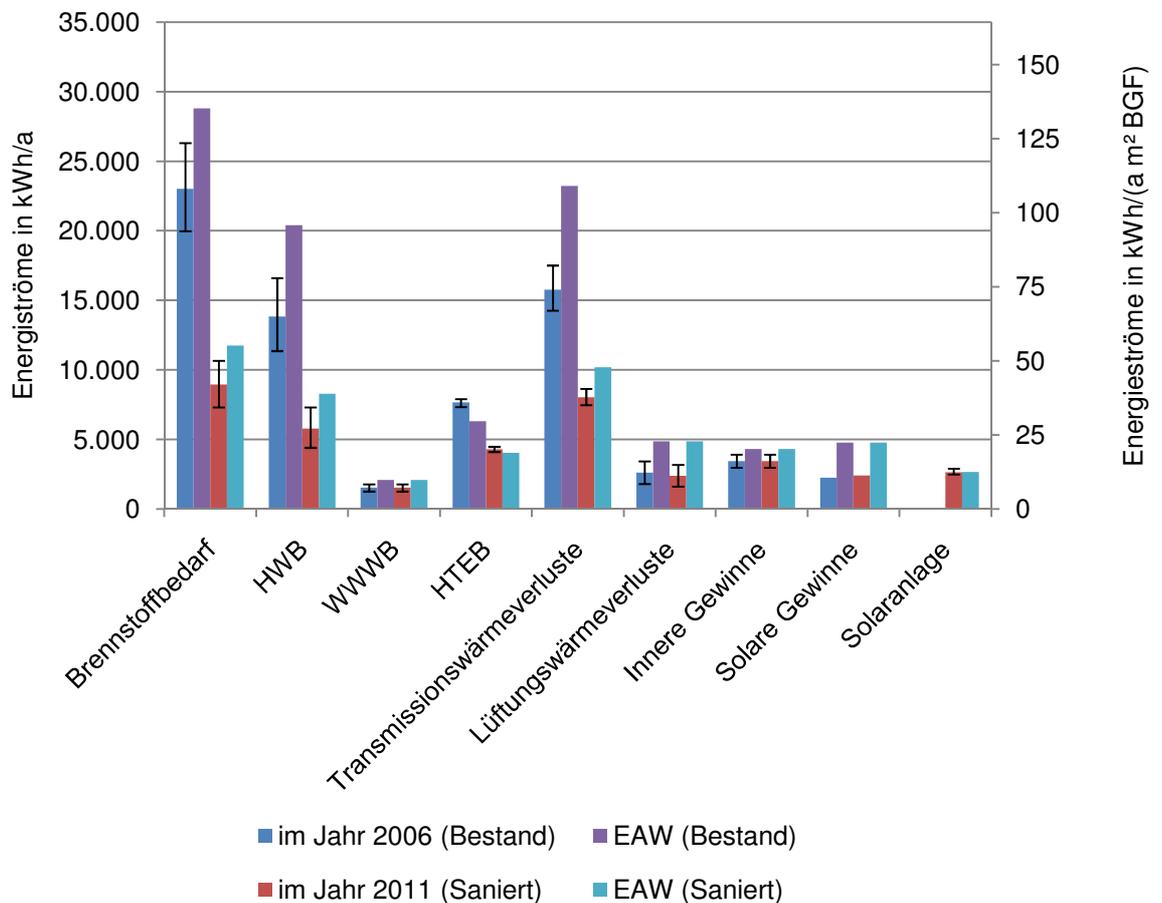


Abbildung 41 Energieströme im Vergleich in kWh/a (Haus 3)

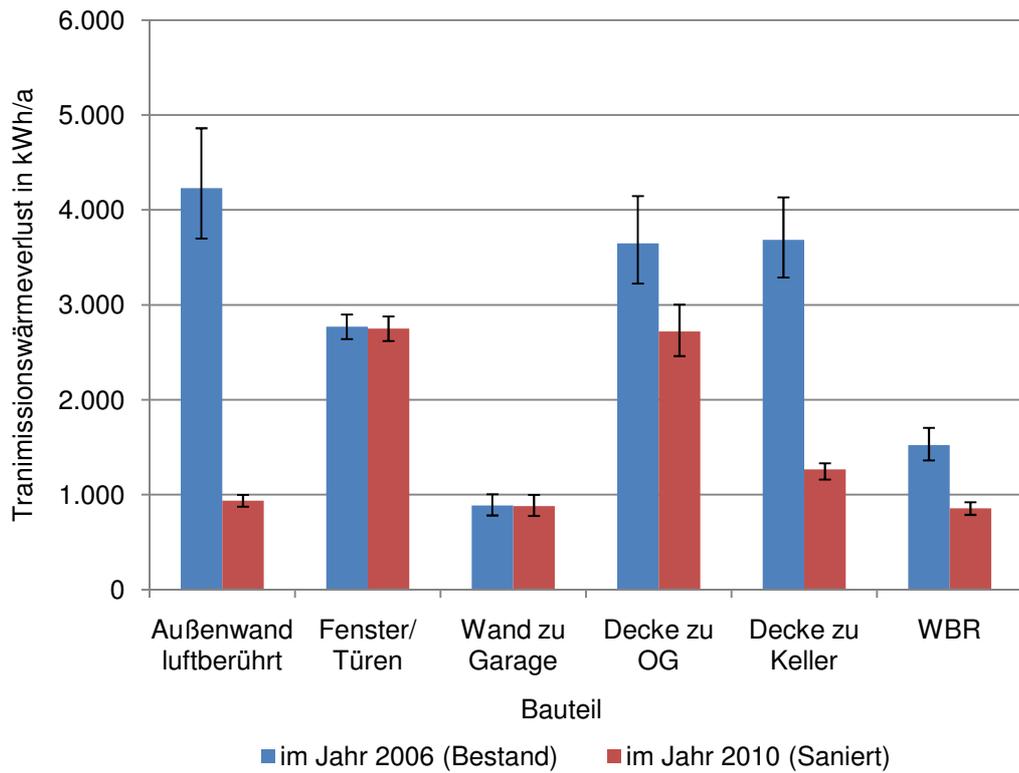


Abbildung 42 Transmissionswärmeverluste pro Jahr und Bauteilgruppe in kWh/a (Haus 3)

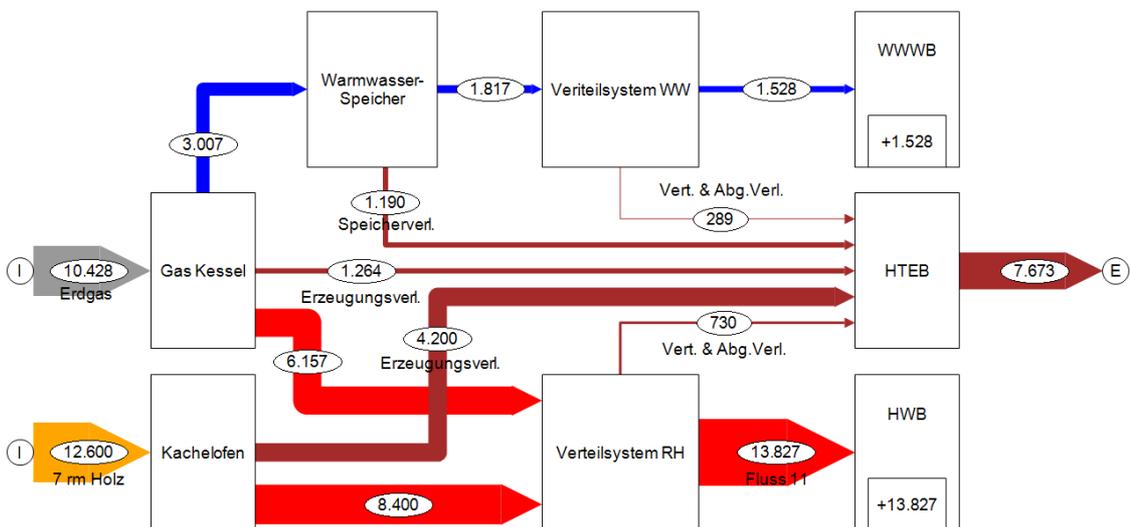


Abbildung 43 Energieflussanalyse in kWh im Jahr 2006 (Bestand)

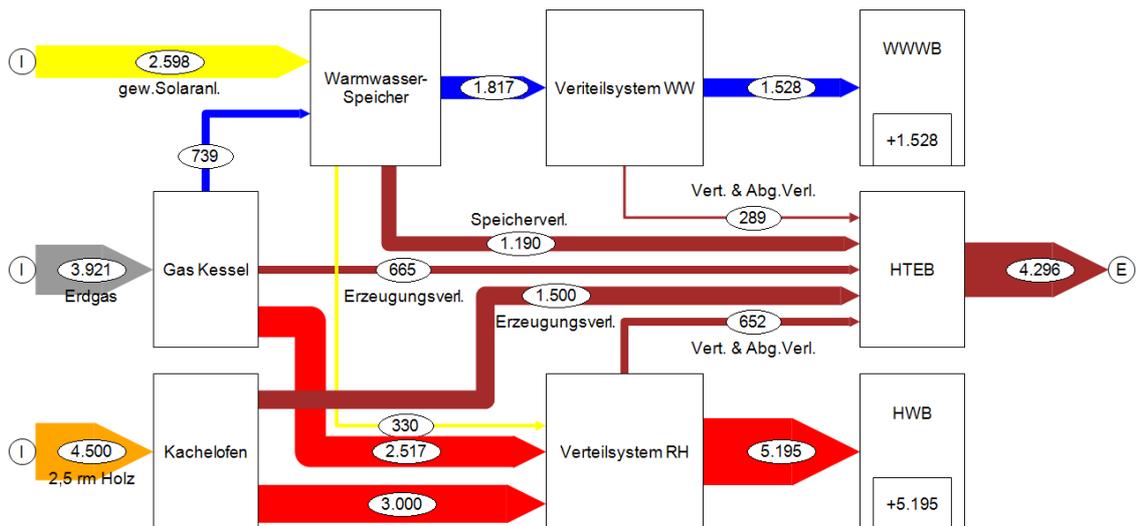


Abbildung 44 Energieflussanalyse in kWh im Jahr 2011 (Saniert)

4.3.6 Interpretation der Ergebnisse

Die Berechnung und tatsächlicher Brennstoffverbrauch vor der Sanierung stimmen sehr gut überein. Auch über den kurzen Zeitraum nach der thermischen Sanierung decken sich Berechnung mit dem Verbrauch. Um das Ergebnis dennoch zu bekräftigen wären hier die Verbrauchsdaten einer weiteren Heizsaison in der üblichen Nutzung von großem Interesse.

Durch das Dämmen der Außenwände im Obergeschoss wurde der Transmissionswärmeverlust über die Decke zwischen EG und OG im Schnitt lediglich um ca. 30 % verringert. Die Erwärmung um bis zu 4 °C im oberen Stockwerk wirkt sich jedoch positiv auf die Bausubstanz aus. Die warme und feuchte Luft aus dem Erdgeschoss trifft auf etwas wärmere Bauteile als vor der Sanierung, dadurch wird die Gefahr von feuchten Bauteilen verringert.

Tabelle 28 Heizwärmebedarf, Umgelegt auf verschiedene Brutto-Grundflächen

	EG	EG + OG	Stand. Energieausweis BGF = 164,36m ²
	BGF = 83,68m ²	BGF = 164,36m ²	
im Jahr 2006 (Bestand)	165,2 kWh/m ² a	84,1 kWh/m ² a	124,1 kWh/m ² a
im Jahr 20010 (Saniert)	69,2 kWh/m ² a	35,2 kWh/m ² a	50,3 kWh/m ² a

5 Parameterstudie

In der Parameterstudie werden die Auswirkungen der einzelnen Unsicherheiten auf den Heizwärmebedarf (HWB) etwas genauer untersucht. Als Ausgangsbasis dient dabei das Haus 2.

Tabelle 29 Auswirkungen der Unsicherheiten auf den Heizwärmebedarf (Haus 2)

		Bestand 2006	Saniert 2010
Innentemperatur	+/- 0,5 °C	+/- 4,58 %	+/- 4,76 %
U-Wert der Bestandsbauteile	+/- 10,0 %	+/- 6,24 %	+/- 2,76 %
Anwesenheit der Personen	+/- 3,0 h/Pers	+/- 0,67 %	+/- 2,08 %
Wärmefreisetzung durch elektrische Geräte und Beleuchtung	+/- 10,0 %	+/- 0,93 %	+/- 2,86 %
Fugenlüftung	+/- 50,0 %	+/- 4,42 %	+/- 9,17 %
Fensterlüftung	+/- 20,0 %	+/- 3,13 %	+/- 10,07 %
schwere Bauweise		-0,88 %	-1,21 %
leichte Bauweise		1,79 %	3,78 %

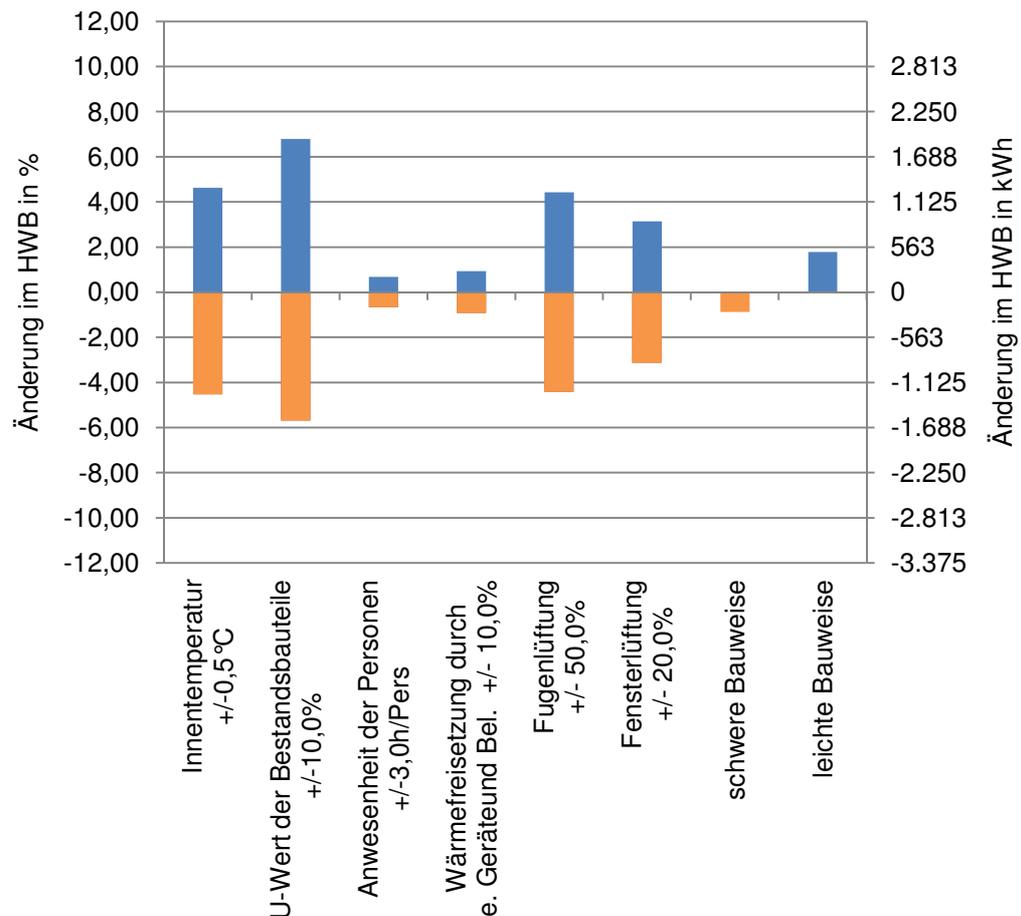


Abbildung 45 Auswirkungen der Unsicherheiten auf den Heizwärmebedarf (Bestand, Haus 2)

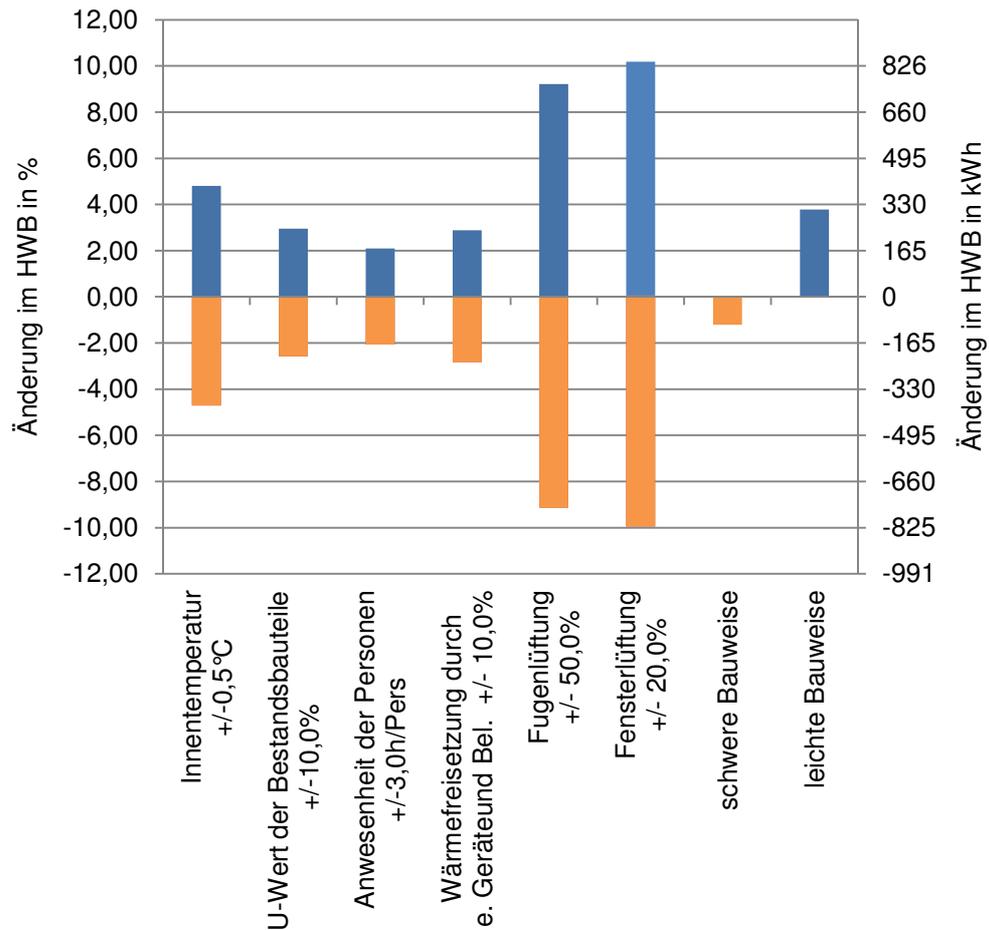


Abbildung 46 Auswirkungen der Unsicherheiten auf den Heizwärmebedarf
(Saniert, Haus 2)

Eine Änderung der Innentemperatur spielt sowohl im Sanierten- als auch im Bestandszustand einen sehr große Rolle für den Heizwärmebedarf.

Bei einer Verbesserung der Gebäudehülle gewinnt der Einfluss des Nutzerverhaltens immer mehr an Bedeutung. Sehr guter Wärmeschutz zielt auf die Minimierung des Wärmebedarfs ab - Schwankungen als Folge von Nutzereinflüssen werden in Relation dazu größer. [STI01]

Die Klimadaten der ÖNORM B 8110-5 wurden auf der Basis der Jahre 1951 bis 1980 erstellt. Seit damals ist der Jahresmittelwerte der Außentemperatur um mehr als 1 °C gestiegen.

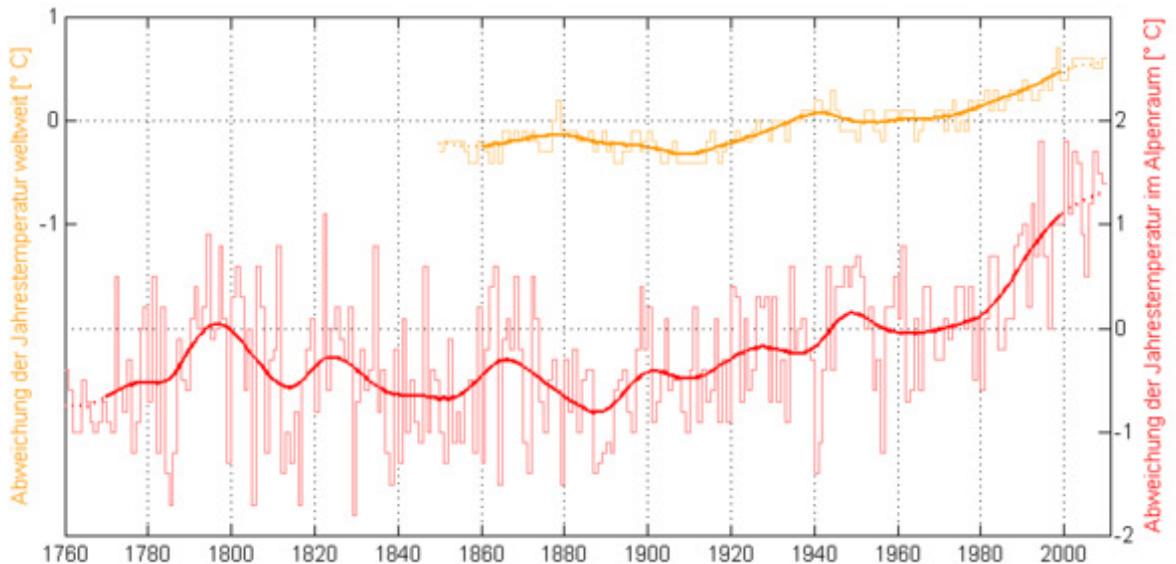


Abbildung 47 Entwicklung der mittleren Jahrestemperatur weltweit 1850–2009 (orange, linke y-Achse) und im Großraum Alpen 1760–2009 (rot, rechte y-Achse). Dargestellt sind jährliche Abweichungen vom Mittel der Jahre 1901–2000 und deren geglättete Trends.[Zen11]

Im 20. Jahrhundert hat sich die globale Mitteltemperatur um knapp 1° C erhöht. Auch und besonders im Alpenraum ist es wärmer geworden, allerdings nicht stetig und mit jahreszeitlichen Unterschieden. Hier betrug die Temperaturzunahme sogar rund 2° C [Zen11]

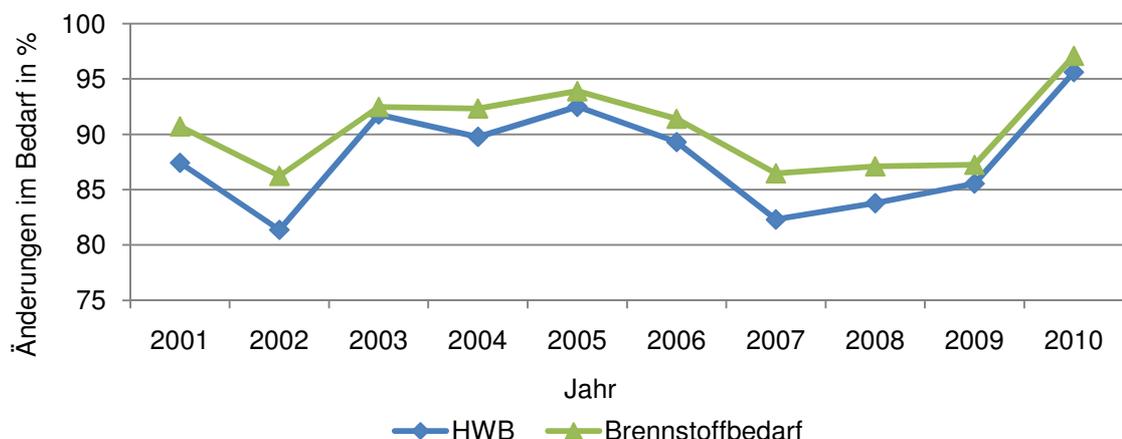


Abbildung 48 Änderung im Bedarf bei der Umstellung der Klimadaten vom 3-Schicht Regressionsmodell Region W der ÖNORM B 8110-5 auf die Monatsmitteltemperaturen der höhenkorrigierten Werte der Messstation in Feldkirch (Haus 2)

6 Zusammenfassung

Um einen Vergleich zwischen der Verbrauchsdaten und der Bedarfsberechnung für den Energieeinsatz von Einfamilienhäusern ziehen zu können, ist eine sehr große Menge an Eingangsdaten und Berechnungen nötig. Diese Daten sind oftmals nicht vorhanden oder mit sehr großen Unsicherheiten behaftet, welche sich in den Berechnungen fortpflanzen können. Im Zuge von Sanierungsarbeiten wurden drei Einfamilienhäuser (Baujahr 1957, 1965 und 1987) im Vorarlberger Oberland über mehrere Jahre hinweg genauer betrachtet. Dank der genauen Aufzeichnungen der Bewohner über den Energieverbrauch vor und nach der Sanierung konnte hier dieser Vergleich gezogen werden.

Für den Brennstoffbedarf des Gebäudes wird das Monats-Bilanzverfahren unter Berücksichtigung der Klimadaten der letzten Jahre herangezogen. Die Gebäudedaten stammen von alten Bestandsplänen und Beschreibungen der Bewohner. Das Nutzerverhalten wurde durch eine Befragung, welche ihr Hauptaugenmerk auf die Temperaturen in den Innenräumen und das Lüftungsverhalten legt, ermittelt. Die Innentemperatur eines konditionierten Bereiches ergibt sich aus dem gewichteten Mittel über die erfragten Raumtemperaturen der einzelnen Räume. Für das Lüftungsverhalten wurde für jedes Fenster ein stündliches Öffnungsprofil angelegt und damit die Lüftungswärmeverluste simuliert.

Trotz der enormen Anzahl an unsicheren Angaben, Annahmen und Vereinfachungen, ist hier ein guter Vergleich zwischen der Bedarfsberechnung und den tatsächlichen Verbrauchsdaten möglich. Die standardisierte Bedarfsberechnung des Energieausweises liegt bei den untersuchten Gebäude etwa 35 % über dem wirklichen Brennstoffverbrauch. Durch Anpassen von Klimamodell und Nutzungsprofil konnte diese Differenz etwas verringert werden.

Entscheidend für die Bedarfsberechnung ist, welche Räume tatsächlich benutzt und beheizt werden. Schon ein Unterschied von einem halben Grad Celsius der durchschnittlichen Innentemperatur im Gebäude kann den Heizwärmebedarf um 4 – 5 % ändern. Im nicht sanierten Zustand spielt die Außenhülle des Gebäudes eine entscheidende Rolle für den Brennstoffbedarf, doch bei einer thermischen Sanierung gewinnt der Einfluss des Nutzerverhaltens immer mehr an Bedeutung.

7 Literaturverzeichnis

[ANT10] ANTRETTNER, Florian, MAYER, Christine und HOLM, Andreas H. 2010. Importance of ventilation – user profiles for the hygrothermal building simulation. Holzkirchen, Germany : Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2010.

[ASC04] ASCHOFF, Carsten und GROTTJAN, Hartmut. 2004. *Frischlufftechnik im Wohnungsbau*. Stuttgart : Gentner Verlag, 2004. ISBN 3-87247-616-5.

[bau11] baubook GmbH. baubook. *Ökologische Bauprodukte*. [Online] baubook GmbH. [Zitat vom: 25. 5 2011.] <http://www.baubook.at/>.

[BIE05] BIERMAYR, Peter, SCHRIEFL, Ernst und BAUMANN, Bernhard. 2005. Bericht. *Maßnahmen zur Minimierung von Reboundeffekten bei der Sanierung von Wohngebäuden (MARESI)*. s.l. : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2005.

[ENI07] EN ISO 13370. 2007. *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren*. 2007.

[ENI071] EN ISO 13789. 2007. *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO 13789:2007);*. 2007.

[ENI08] EN ISO 13790. 2008. *Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung*. 2008.

[Ene11] Energieinstitut Vorarlberg. Energieinstitut Vorarlberg. [Online] Energieinstitut Vorarlberg. [Zitat vom: 20. 5 2011.] <http://www.energieinstitut.at/>.

[Ene111] Energiesparhaus.at. Energiesparhaus, Unabhängige Beratung für Wohnen, Hausbau und Sanierung. [Online] Internetagentur Grudrun Stoiber. [Zitat vom: 20. 5 2011.] <http://www.energiesparhaus.at>.

[HAL04] HALL, Monika. 2004. Dissertation. *Untersuchungen zum thermisch induzierten Luftwechsellpotential von Kippfenstern*. Kassel : Universität Kassel, 2004.

[KÜN06] KÜNZEL, Helmut und BISCHOF, Wolfgang. 2006. *Fensterlüftung und Raumklima*. Stuttgart : Fraunhofer IRB-Verl., 2006. ISBN 978-3-8167-6796-1.

- [MAA95] MAAS, Anton. 1995.** Dissertation. *Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung*. Kassel : Universität Kassel, 1995.
- [MAA98] MAAS, Anton, SCHMIDT, Dietrich und HAUSER, Gerd. 1998.** Nachdruck. *Experimentelle Untersuchungen zum Luftaustausch bei Querlüftung*. Kassel : Universität Kassel, 1998.
- [MEY87] MEYRINGER, Volker und TREPTE, Lutz. 1987.** *Lüftung im Wohnungsbau*. Karlsruhe : Müller, 1987. ISBN 3-7880-7298-9 .
- [ÖNO075] ÖNORM B 8110-5. 2007.** *Wärmeschutz im Hochbau. Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2007.
- [ÖNO076] ÖNORM B 8110-6. 2007.** *Wärmeschutz im Hochbau. Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2007.
- [ÖNO09] ÖNORM EN 15242. 2009.** *Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2009.
- [ÖNO89] ÖNORM H 5050. 1989.** *Energiekennzahl, Definition, Berechnung, Anwendung*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 1989.
- [ÖNO11] ÖNORM H 5056. 2011.** *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2011.
- [PHÖ07] PHÖN, Christian, et al. 2007.** *Bauphysik Erweiterung 1*. Wien : SpringerWienNewYork, 2007. ISSN 1614-1288, ISBN 978-3-211-25722-7.
- [RIC10] RICCABONA, Christof und BEDNAR, Thomas. 2010.** *Baukonstruktionslehre: Bauphysik, Band 4*. Wien : MANZ, 2010. ISBN 978-3-7068-3910-5.
- [MAR09] Sofic, MARIO. 2009.** Dissertation. *Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfachter Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden*. Wien : TU-Wien, 2009.
- [SOL90] SOLLER, Ulrich und MUNKELT, Hartmut. 1990.** *Der Heizungsbauer*. Stuttgart : Hoffmann, 1990. ISBN 3-87346-076-9.

[STI01] STIELDORF, Karin, et al. 2001. *Analyse des NutzerInnenverhaltens in Gebäuden mit Pilot- und Demonstrationscharakter.* Wien : s.n., 2001.

[Zen11] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. 2011. [Online] Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung, 2011.
http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/klimawerte/.

Anhang A Fragebogen

A.1 Allgemeine Fragen

Name: _____

Anschrift: _____

TelefonNr.: _____

e-mail: _____

Gebäudeart: _____

Baujahr: _____

Anzahl der Wohnungen: _____

Gewerbliche Nutzung zu _____ % der Fläche. Art der Tätigkeit: _____

Durchgeführte Sanierungsarbeiten

Datum	Art der Sanierung

Zeiten in der Heizperiode, in denen die Wohnung leer steht: _____

Geschätzte Temperatur in der Absenkphase: _____

Klimadaten

Sonne: sonnige Lage schattige Lage

Beschattung durch Bewuchs, Nachbarn,...: _____

Wind: eher windstill dem Wind ausgesetzt

Personen im Haushalt

Geschlecht / Alter	Beruf/ Tätigkeit	Anwesenheit	
		<u>jährlich</u> in Tagen pro Jahr	<u>täglich</u> in Std. pro Tag
M W			
1.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
3.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
4.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
5.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
6.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
7.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
8.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		

Haustiere

	Tierart	Alter	Größe
1.			cm
2.			cm
3.			cm
4.			cm

Kochen

Energieträger und Art der Kochflächen: _____

Im Haushalt wird ____ mal pro Woche für ____ Personen gekocht

Warmwasserverbrauch

laut Wärmemengenzähler (Falls vorhanden) _____ kWh

	pro Woche
Langes Duschen	mal
Kurzes Duschen	mal
Baden	mal

Wassersparender Duschkopf Ja NeinHaustechnik

Heizsystem:

Typ: _____

Brennstoff: _____

Heizkörper: _____

Systemtemperatur: _____

Regelung: _____

Kesselleistung: ____ kW Baujahr: _____ Typ: _____

Puffervolumen: ____ Liter mittlere Temperatur im Speicher: ____ °

Anmerkung: _____

2. Heizsystem (falls vorhanden)

Verwendung zu ____ % bzw. an ____ Tagen im Jahr

Typ: _____

Brennstoff: _____

Regelung: _____

Kesselleistung: ____ kW Baujahr: _____ Typ: _____

Anmerkung: _____

Warmwasserbereitung:

Art der Warmwasserbereitung: _____

Größe des Wärmespeicher: _____ Liter Baujahr: _____

mittlere Temperatur im Speicher: _____ °

Im Winter

kombiniert mit Heizungsanlage anderes System: _____

Im Sommer

kombiniert mit Heizungsanlage anderes System: _____

Anmerkung: _____

Solaranlage:

Kollektorart: _____ Baujahr: _____

_____ m² _____ ° Azimut _____ ° Neigungswinkel

nur Warmwasser nur Heizwärme beides

Anmerkung: _____

Jahresbilanz:

Jahresbilanz (bitte möglichst genaue Angaben)				
Abrechnungs- zeitraum	Strom [kWh]	Energieträger 1	Energieträger 2	Anmerkung (Sanierung, Kesseltausch, Änderung der Personenzahl...)
		Verbrauch in Liter, kg ...	Verbrauch in Liter, kg ...	

Allgemeines:

A.2 Nutzerverhalten je Raum

Stockwerk: _____ Raumbezeichnung: _____
 Fläche: _____ m² Raumhöhe: _____ m
 Summe der Aufenthaltszeiten aller Personen im Raum _____ Stunden pro Tag

Luftfeuchtigkeit

Die Luft ist: _____ zu feucht zu trocken
 Pflanzen: _____ Viele und Große Pflanzen gar keine Pflanzen
 Wird Wäsche zum trocknen aufgehängt Ja Selten Nein
 Befindet sich ein Luftbefeuchter im Raum Ja Nein

Lüftungsverhalten

Lüftungsverhalten im Winter: _____
 Lüftungsverhalten in der Übergangszeit: _____
 Dichtheit der Fenster und Türen: _____ sehr dicht zieht stark
 Mechanische Lüftungsanlage, wann wird diese Benutzt: _____

Raumtemperatur

Raumtemperatur im Winter: _____ °C Zusatzbemerkungen: _____
 Raumtemperatur in der Übergangszeit: _____ °C
 Wärmebereitstellung: _____ Stk Heizkörper _____ m² Flächenheizung Luftheizung
 Regelung: _____
 Wie oft werden die Einstellungen geändert? _____
 Gibt es unterschiede zwischen Tag und Nacht? _____
 Zusatzheizung: _____
 Betriebsstunden und Verbrauch der Zusatzheizung: _____

Beleuchtung

Beleuchtung	Verbrauch [Watt]	Art (z.B. Glühbirne)	Betriebsstunden pro Tag

Elektrogeräte

Elektro-Gerät	Baujahr	Verbrauch/ Energieklasse	Betriebsstunden pro Tag	Standby (wenn nicht in Betrieb)
				<input type="checkbox"/> Ja
				<input type="checkbox"/> Ja
				<input type="checkbox"/> Ja
				<input type="checkbox"/> Ja
				<input type="checkbox"/> Ja
				<input type="checkbox"/> Ja
				<input type="checkbox"/> Ja

Anmerkungen:

Anhang B Haus 1

B.1 Klima

	Tm	So%										
	2001		2002		2003		2004		2005		2006	
1	2,26	100	-1,44	100	-0,24	100	1,16	100	-0,34	100	-3,74	100
2	4,05	100	5,75	100	-2,65	100	1,95	100	-1,25	100	0,05	100
3	7,93	100	7,23	100	7,13	100	4,53	100	5,43	100	3,03	100
4	7,40	100	8,90	100	9,80	100	9,90	100	10,20	100	9,50	100
5	16,10	100	14,10	100	15,60	100	12,10	100	14,40	100	14,10	100
6	15,50	100	19,20	100	22,30	100	16,50	100	18,20	100	18,00	100
7	18,60	100	18,40	100	19,90	100	18,50	100	18,70	100	22,50	100
8	19,23	100	17,93	100	22,23	100	19,13	100	16,33	100	15,43	100
9	11,84	100	13,04	100	14,44	100	14,94	100	16,04	100	17,24	100
10	13,16	100	10,26	100	6,96	100	12,46	100	10,66	100	13,06	100
11	2,24	100	7,24	100	5,44	100	3,84	100	3,94	100	7,74	100
12	-1,19	100	3,41	100	1,31	100	-0,79	100	-0,99	100	1,51	100

	Tm	So%	Tm	So%								
	2007		2008		2009		2010		2011		Region W	
1	3,76	100	2,96	193	-2,24	137	-2,44	134	0,66	155	-1,35	100
2	4,95	100	3,35	187	0,45	86	0,85	111	1,95	123	0,37	100
3	6,23	100	4,93	89	4,03	85	4,73	121	6,13	147	3,93	100
4	13,00	100	8,60	81	12,20	149	9,70	147	9,96	100	8,08	100
5	15,10	100	16,00	121	16,10	127	12,10	58	14,74	100	12,51	100
6	18,20	100	18,30	100	16,60	99	17,30	100	17,83	100	15,61	100
7	18,90	100	18,70	106	19,00	99	20,70	125	19,09	100	17,69	100
8	18,03	100	18,13	111	19,83	130	17,23	76	18,42	100	17,41	100
9	12,74	100	12,74	103	15,14	128	12,84	106	14,42	100	13,89	100
10	9,66	100	9,86	108	9,56	115	9,26	97	10,57	100	9,01	100
11	3,04	100	4,14	150	7,04	128	5,04	127	4,81	100	3,52	100
12	-0,19	100	0,71	122	1,31	119	-0,79	109	0,78	100	-0,31	100

Tm Monatsmittel der Lufttemperatur in Grad Celsius

So% Sonnenscheindauer in % des langjährigen Mittelwertes

B.2 Wandaufbauten

AD01	Decke zu unconditioniertem geschloss. Dachraum	von oben nach unten	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Glaswolle	Saniert	10,0	0,036
Spanplatte V100	Bestand	1,9	0,12
Sparren dazw.	Bestand	14,0	0,02
Luftschicht	Bestand	2,0	0,12
Glaswolle	Bestand	12,0	0,036
Heraklith - BM	Bestand	3,5	0,1
ECOBAP blue	Bestand	0,1	0,5
Holz - Schnittholz	Bestand	1,4	0,12
		Rsi+Rse	0,2
		Bestand U-Wert	0,271 W/m ² K
		Saniert U-Wert	0,153 W/m ² K

DS01	Dachschräge hinterlüftet	von außen nach innen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Holz Hartfaserplatte (längs zur Faser)	Bestand	0,4	0,4
Sparren dazw.	Bestand	14,0	0,12
Luftschicht	Bestand	2,0	0,118
Glaswolle	Bestand	12,0	0,036
Heraklith - BM	Bestand	3,5	0,1
ECOBAP blue	Bestand	0,1	0,5
Holz - Schnittholz	Bestand	1,4	0,12
		Rsi+Rse	0,2
		U-Wert	0,228 W/m ² K

AW01	Außenwand Nord	von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Kalkgipsputz	Bestand	1,0	0,7
Ziegel - Hochlochziegel prorsiert <=800kg/m ³	Bestand	30,0	0,25
Glaswolle	Bestand	8,0	0,04
		Rsi+Rse	0,17
		U-Wert	0,306 W/m ² K

AW02	Außenwand hinterlüftet	von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Holz - Schnittholz Fichte	Bestand	1,4	0,12
ECOVAP blue	Bestand	0,1	0,5
Heraklitz-BM	Bestand	3,5	0,093
Sparren dazw	Bestand	14,0	0,12
Glaswolle	Bestand	14,0	0,036
Holz - Schnittholz Fichte	Bestand	2,0	0,12
Sparren dazw.	Saniert	3,0	0,12
Glaswolle	Saniert	3,0	0,036
		Rsi+Rse	0,26
		Bestand U-Wert	0,257 W/m ² K
		Saniert U-Wert	0,221 W/m ² K

IW02		Wand zu Garage OG		von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]		
Holz - Schnittholz Fichte	Bestand	1,4	0,12		
ECOVAP blue	Bestand	0,1	0,5		
Heraklitz-BM	Bestand	3,5	0,093		
Sparren dazw	Bestand	14,0	0,12		
Glaswolle	Bestand	14,0	0,036		
Holz - Schnittholz Fichte	Bestand	2,0	0,12		
		Rsi+Rse		0,26	
		U-Wert		0,257 W/m ² K	

IW01		Wand zu Garage EG		von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]		
Gipskartonplatte	Bestand	1,25	0,21		
Riegel dazw.	Bestand	5,0	0,12		
Glaswolle	Bestand	5,0	0,036		
Ziegel - Hochlochziegel prorsiert <=800kg/m ³	Bestand	30,0	0,25		
		Rsi+Rse		0,26	
		U-Wert		0,366 W/m ² K	

AW04		Außenwand Eingangsbereich		von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]		
Kalkgipsputz	Bestand	1,0	0,7		
Ziegel - Hochlochziegel porosiert <=800kg/m ³	Bestand	18,0	0,25		
Kalk-Zementputz	Bestand	1,0	1		
		Rsi+Rse		0,17	
		U-Wert		0,996 W/m ² K	

AW03		Kellerwand Oberirdisch		von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]		
Zementputz	Bestand	1,5	1,4		
Stahlbeton	Bestand	25,0	2,5		
Poystyrol XPS	Bestand	5,0	0,041		
		Rsi+Rse		0,17	
		U-Wert		0,667 W/m ² K	

AW03		Kellerwand zu Erdreich		von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]		
Zementputz	Bestand	1,5	1,4		
Stahlbeton	Bestand	25,0	2,5		
Poystyrol XPS	Bestand	5,0	0,041		
		Rsi+Rse		0,13	
		U-Wert		0,685 W/m ² K	

IW03		Kellerwand zu Garage		von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]		
Zementputz	Bestand	1,5	1,4		
Stahlbeton	Bestand	25,0	2,5		
Poystyrol XPS	Bestand	5,0	0,041		
		Rsi+Rse		0,26	
		U-Wert		0,629 W/m ² K	

EC01	erdanlieg. Fußboden	von oben nach unten	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
	Keramische Bodenbeläge	Bestand	1,0
	Zementestrich	Bestand	4,0
	Trittschalldämmplatte	Bestand	3,5
	Stahlbeton	Bestand	16,0
		Rsi+Rse	0,17
		U-Wert	0,942 W/m ² K

DD01	Außendecke, Wärmestrom nach unten	von oben nach unten	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
	Riemenparkett	Bestand	2,7
	Riegel dazw.	Bestand	5
	Glaswolle	Bestand	5
	Steinwolle Trittschalldämmung	Bestand	1
	Holz - Schnittholz Fichte	Bestand	2,7
	Riegel dazw.	Bestand	14
	Luftschicht	Bestand	2
	Glaswolle	Bestand	12
	Holz - Schnittholz Fichte	Bestand	2
		Rsi+Rse	0,21
		U-Wert	0,196 W/m ² K

B.3 Lüftungsprofil

	Raum	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m ²]	Öffnungsart	stündliche Öffnungszeiten in Minuten bei 10 °C Außentemperatur																							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Keller	Heizraum	1,00	0,60	0,48	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Treppenhaus	1,00	0,60	0,48	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Waschküche	1,00	0,60	0,48	ganz offen	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Hobbyraum	1,00	0,60	0,48	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0		
	Vorratskeller	1,00	0,60	0,48	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
EG	Küche	0,90	2,10	1,51	ganz offen	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	5	5	0	5	5	5	0	0	0		
	WC	0,50	0,70	0,28	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0		
	Büro	0,90	1,20	0,86	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0		
	Treppenhaus	2,24	2,28	4,09	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0		
	Musikerzi.	0,90	1,20	0,86	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
OG	Zimmer	0,50	0,70	0,28	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	WC	0,90	2,10	1,51	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Bad	0,50	0,50	0,20	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Zimmer	0,90	2,10	1,51	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Gästezimmer	0,90	1,20	0,86	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Anhang C Haus 2

C.1 Klima

	Tm	So%										
	2001		2002		2003		2004		2005		2006	
1	1,57	100	-2,13	100	-0,93	100	0,47	100	-1,03	100	-4,43	100
2	3,30	100	5,00	100	-3,40	100	1,20	100	-2,00	100	-0,70	100
3	7,07	100	6,37	100	6,27	100	3,67	100	4,57	100	2,17	100
4	6,39	100	7,89	100	8,79	100	8,89	100	9,19	100	8,49	100
5	15,11	100	13,11	100	14,61	100	11,11	100	13,41	100	13,11	100
6	14,50	100	18,20	100	21,30	100	15,50	100	17,20	100	17,00	100
7	17,62	100	17,42	100	18,92	100	17,52	100	17,72	100	21,52	100
8	18,40	100	17,10	100	21,40	100	18,30	100	15,50	100	14,60	100
9	11,02	100	12,22	100	13,62	100	14,12	100	15,22	100	16,42	100
10	12,49	100	9,59	100	6,29	100	11,79	100	9,99	100	12,39	100
11	1,44	100	6,44	100	4,64	100	3,04	100	3,14	100	6,94	100
12	-2,12	100	2,48	100	0,38	100	-1,72	100	-1,92	100	0,58	100

	Tm	So%	Tm	So%								
	2007		2008		2009		2010		2011		Region W	
1	3,07	100	2,27	193	-2,93	137	-3,13	134	-0,03	155	-2,04	100
2	4,20	100	2,60	187	-0,30	86	0,10	111	1,20	123	-0,38	100
3	5,37	100	4,07	89	3,17	85	3,87	121	5,27	147	3,07	100
4	11,99	100	7,59	81	11,19	149	8,69	147	8,95	100	7,07	100
5	14,11	100	15,01	121	15,11	127	11,11	58	13,76	100	11,52	100
6	17,20	100	17,30	100	15,60	99	16,30	100	16,83	100	14,61	100
7	17,92	100	17,72	106	18,02	99	19,72	125	18,12	100	16,71	100
8	17,20	100	17,30	111	19,00	130	16,40	76	17,58	100	16,58	100
9	11,92	100	11,92	103	14,32	128	12,02	106	13,61	100	13,08	100
10	8,99	100	9,19	108	8,89	115	8,59	97	9,89	100	8,33	100
11	2,24	100	3,34	150	6,24	128	4,24	127	4,01	100	2,73	100
12	-1,12	100	-0,22	122	0,38	119	-1,72	109	-0,15	100	-1,24	100

Tm Monatsmittel der Lufttemperatur in Grad Celsius

So% Sonnenscheindauer in % des langjährigen Mittelwertes

C.2 Wandaufbauten

AW01	Außenwand	von innen nach außen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Kalkgipsputz	Bestand	1,0	0,700
Herlaklith-EPV	Bestand	4,0	0,124
Ziegel - Hochlochziegel porosiert $\leq 800\text{kg/m}^3$	Bestand	30,0	0,250
Kalk-Zementputz	Bestand	1,0	1,000
RÖFIX EPS-Fassadendämmplatte "TAKE-IT AIPIN"	Saniert	20,0	0,031
Silikatputz armiert	Saniert	0,8	0,800
		Rsi+Rse	0,17
		Bestand U-Wert	0,581 W/m ² K
		Saniert U-Wert	0,122 W/m ² K

DS01	Dachschräge hinterlüftet	von außen nach innen	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Sparren dazw.	Bestand	16	0,12
Glaswolle	Bestand	14	0,036
Luft steh.	Bestand	2	0,176
Luft steh	Bestand	3	0,176
Gipskartonplatte	Bestand	1,25	0,21
		Rsi+Rse	0,2
		U-Wert	0,284 W/m ² K

AD01	Decke zu Dachraum	von oben nach unten	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Glaswolle	Saniert	22	0,036
Riemenparkett	Bestand	2,7	0,15
Sparren dazw.	Bestand	18	0,12
Schlacke	Bestand	16	0,35
Holz - Schnittholz Nadel	Bestand	2	0,12
Schilfplatte	Bestand	1	0,06
Kalkgipsputz	Bestand	1	0,7
		Rsi+Rse	0,2
		Bestand U-Wert	0,858 W/m ² K
		Saniert U-Wert	0,137 W/m ² K

KD01	Decke zu Keller	von oben nach unten	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Parkett - Riemenparkett	Bestand	2,7	0,15
Riegel dazw.	Bestand	5	0,12
Luftschicht	Bestand	1	0,147
Steinwolle MW-W	Bestand	4	0,036
Ziegelhohlkörper mit Aufbeton	Bestand	18	0,738
RÖFIX EPS-Fassadendämmplatten "TAKE-IT AIPIN"		12	0,031
Silikatputz		0,3	0,8
		Rsi+Rse	
			0,34
		Bestand	U-Wert
			0,545 W/m ² K
		Saniert	U-Wert
			0,175 W/m ² K

DD01	Decke über Eingang	von oben nach unten	
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]
Parkett - Riemenparkett	Bestand	2,7	0,15
Riegel dazw.	Bestand	5	0,12
Luft	Bestand	1	0,147
Steinwolle MW-W	Bestand	4	0,036
Ziegelhohlkörper mit Aufbeton	Bestand	18	0,738
Kalk-Zementputz	Bestand	1	1
RÖFIX EPS-Fassadendämmplatten "TAKE-IT AIPIN"	Saniert	20	0,031
Silikatputz armiert	Saniert	0,8	0,8
		Rsi+Rse	
			0,21
		Bestand	U-Wert
			0,584 W/m ² K
		Saniert	U-Wert
			0,122 W/m ² K

C.3 Lüftungsprofil

Raum	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m ²]	Öffnungsart	stündliche Öffnungszeiten in Minuten bei 10 °C Außentemperatur																								
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
EG	Küche	1,90	1,12	1,70	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Wohnzimmer	1,30	2,20	2,29	gekippt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Wohnzimmer	1,30	1,25	1,30	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0		
	Zimmer	1,90	1,25	1,90	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Vorraum	1,00	2,10	1,68	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
OG	Bad	1,00	1,10	0,88	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Zimmer	1,90	1,25	1,90	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Zimmer	1,30	2,20	2,29	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Zimmer	1,30	1,25	1,30	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Bad	1,00	1,10	0,88	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Querlüften	Höhe [m]	Fensterfl. 1 [m ²]		Fensterfl. 2 [m ²]																									
EG	1,25	ca. 4,00		ca. 5,00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Anhang D Haus 3

D.1 Klima

	Tm	So%										
	2001		2002		2003		2004		2005		2006	
1	1,97	100	-1,73	100	-0,53	100	0,87	100	-0,63	100	-4,03	100
2	3,74	100	5,44	100	-2,96	100	1,64	100	-1,56	100	-0,26	100
3	7,57	100	6,87	100	6,77	100	4,17	100	5,07	100	2,67	100
4	6,98	100	8,48	100	9,38	100	9,48	100	9,78	100	9,08	100
5	15,69	100	13,69	100	15,19	100	11,69	100	13,99	100	13,69	100
6	15,08	100	18,78	100	21,88	100	16,08	100	17,78	100	17,58	100
7	18,20	100	18,00	100	19,50	100	18,10	100	18,30	100	22,10	100
8	18,89	100	17,59	100	21,89	100	18,79	100	15,99	100	15,09	100
9	11,50	100	12,70	100	14,10	100	14,60	100	15,70	100	16,90	100
10	12,88	100	9,98	100	6,68	100	12,18	100	10,38	100	12,78	100
11	1,91	100	6,91	100	5,11	100	3,51	100	3,61	100	7,41	100
12	-1,57	100	3,03	100	0,93	100	-1,17	100	-1,37	100	1,13	100

	Tm	So%	Tm	So%								
	2007		2008		2009		2010		2011		Region W	
1	3,47	100	2,67	193	-2,53	137	-2,73	134	0,37	155	-1,64	100
2	4,64	100	3,04	187	0,14	86	0,54	111	1,64	123	0,06	100
3	5,87	100	4,57	89	3,67	85	4,37	121	5,77	147	3,57	100
4	12,58	100	8,18	81	11,78	149	9,28	147	9,54	100	7,66	100
5	14,69	100	15,59	121	15,69	127	11,69	58	14,33	100	12,10	100
6	17,78	100	17,88	100	16,18	99	16,88	100	17,42	100	15,19	100
7	18,50	100	18,30	106	18,60	99	20,30	125	18,69	100	17,28	100
8	17,69	100	17,79	111	19,49	130	16,89	76	18,07	100	17,07	100
9	12,40	100	12,40	103	14,80	128	12,50	106	14,08	100	13,56	100
10	9,38	100	9,58	108	9,28	115	8,98	97	10,29	100	8,73	100
11	2,71	100	3,81	150	6,71	128	4,71	127	4,48	100	3,20	100
12	-0,57	100	0,33	122	0,93	119	-1,17	109	0,40	100	-0,69	100

Tm Monatsmittel der Lufttemperatur in Grad Celsius

So% Sonnenscheindauer in % des langjährigen Mittelwertes

D.2 Wandaufbauten

AW01	Außenwand	von innen nach außen		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	Kalkgipsputz	Bestand	1,0	0,700
	Herklith-BM	Bestand	2,5	0,093
	Ziegel - Hochlochziegel porosiert $\leq 800\text{kg/m}^3$	Bestand	30,0	0,250
	Kalk-Zementputz	Bestand	1,0	1,000
	RÖFIX EPS-Fassadendämmplatte "Lambdapor"	Saniert	18,0	0,031
	Silikatputz armiert	Saniert	0,8	0,800
		Rsi+Rse		0,17
		Bestand	U-Wert	0,601 W/m ² K
		Saniert	U-Wert	0,134 W/m ² K

ZW01	Wand zu Garage	von innen nach außen		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	Kalkgipsputz	Bestand	1,0	0,700
	Herklith-BM	Bestand	2,5	0,093
	Ziegel - Hochlochziegel porosiert $\leq 800\text{kg/m}^3$	Bestand	18,0	0,250
	Kalk-Zementputz	Bestand	1,0	1,000
		Rsi+Rse		0,26
		Bestand	U-Wert	0,785 W/m ² K

ZD01	Zwischendecke zu OG	von oben nach unten		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	Parkett - Riemenparkett	Bestand	2,7	0,150
	Sparren dazw.	Bestand	18,0	0,120
	Schlacke	Bestand	16,0	0,350
	Holz - Schnittholz Nadel	Bestand	2,0	0,120
	Herklith-BM	Bestand	2,5	0,093
	Kalkgipsputz	Bestand	1,0	0,700
		Rsi+Rse		0,2
		U-Wert		0,752 W/m ² K

AD01	Decke zu Dachraum	von oben nach unten		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	OSB-Platte	Saniert	1,5	0,130
	Heralan-FP	Saniert	12,0	0,035
	Holz - Schnittholz Nadel	Bestand	2,7	0,150
	Sparren dazw.	Bestand	18,0	0,120
	Glaswolle	Bestand	16,0	0,043
	Holz - Schnittholz Nadel	Bestand	2,0	0,120
	Herklith-BM	Bestand	2,5	0,093
	Kalkgipsputz	Bestand	1,0	0,700
		Rsi+Rse		0,2
		Bestand	U-Wert	0,248 W/m ² K
		Saniert	U-Wert	0,130 W/m ² K

KD01	Decke zu Keller	von oben nach unten		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	Parkett - Riemenparkett	Bestand	2,7	0,15
	Riegel dazw.	Bestand	5	0,12
	Luft	Bestand	1	0,313
	Steinwolle MW-W	Bestand	4	0,043
	Stahlbeton	Bestand	18	2,5
	Röfix EPS-Fassadendämmplatte "Lambdapor"	Saniert	12	0,031
	Silikonharzputz	Saniert	0,8	0,800
		Rsi+Rse		0,34
		Bestand	U-Wert	0,684 W/m ² K
		Saniert	U-Wert	0,187 W/m ² K

AW02	Kellerwand zu Außenluft	von innen nach außen		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	Kalk-Zementputz	Bestand	1	1
	Betonhohlstein aus Normalbeton	Bestand	35	0,55
	Kalk-Zementputz	Bestand	2	1
	RÖFIX EPS-Fassadendämmplatte "Lambdapor"	Saniert	18	0,031
	Silikatputz armiert	Saniert	0,8	0,8
		Rsi+Rse		0,17
		Bestand	U-Wert	1,196 W/m ² K
		Saniert	U-Wert	0,150 W/m ² K

EW01	erdanliegende Kellerwand	von innen nach außen		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	Kalk-Zementputz	Bestand	1	1
	Betonhohlstein aus Normalbeton	Bestand	35	0,55
	Kalk-Zementputz	Bestand	2	1
		Rsi+Rse		0,13
		U-Wert		1,256 W/m ² K

EC01	erdanliegender Kellerboden	von oben nach unten		
		Dicke [cm]	Leitwert [W/mK]	
	Keramische Beläge	Bestand	1	1,2
	Stahlbeton	Bestand	16	2,5
		Rsi+Rse		0,17
		U-Wert		4,127 W/m ² K

D.3 Lüftungsprofil

Eins. Fensterl.	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m ²]	Öffnungsart	stündliche Öffnungszeiten in Minuten bei 10 °C Außentemperatur																							
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
EG	Wohnzimmer	1,95	1,30	2,03	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Küche	1,95	1,30	2,03	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0		
	Zimmer	1,30	1,30	1,35	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Bad	0,65	0,80	0,42	ganz offen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0		
Querlüften	Höhe				Fensterfl. 1																							
					Fensterfl. 2 [m ²]																							
EG	1,30	2,03	2,03	1,35		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
OG	1,30	1,35	1,35	1,35		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			