

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Entwicklung einer dynamischen Berechnungsmethode zur Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs von Einfamilienhäusern mit Wärmepumpe und thermischer Solaranlage unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens

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

Proj.Ass. Dipl.-Ing. Markus Leeb

E 206

Institut für Hochbau und Technologie

Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

David Steinbacher 0326323

Singrienergasse 34-36 1120 Wien

Wien, November 2011

Unterschrift

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Berechnung des Primärenergiebedarfs eines Einfamilienhauses. Um bessere Aussagen über den späteren Energieverbrauch im Voraus treffen zu können, wurde ein dynamisches Berechnungsverfahren auf Stundenbasis generiert. Mit diesem Verfahren lassen sich Einflüsse aus dem Umgebungsklima und dem Verhalten der Bewohner mit der resultierenden Reaktion der Haustechnik verbinden.

Das Herzstück der Berechnung ist der zentrale Warmwasserspeicher in welchem die Einträge aus der thermischen Solaranlage sowie der Wärmepumpe aufgenommen und zur Verwendung für Raumheizung und Brauchwasser ausgegeben werden.

Das Berechnungsverfahren wurde unter Einbeziehung von Daten eines bestehenden Gebäudes verfeinert und angepasst. Um die Genauigkeit des Verfahrens weiter zu verbessern und zur Indikation von Fehlerquellen wurden Vergleichsrechnungen nach den aktuellen Normen im Bereich Wärmeschutz und Gebäudetechnik durchgeführt.

Abstract

This Master's thesis deals with the calculation of the primary energy demand of a single family house. In order to draw conclusions in advance about the future energy consumption, a dynamic calculation method on an hourly basis was developed. With this method, influences from the ambient conditions and the behavior of residents with the resulting response of building services can be combined.

The core of the calculation constitutes the central hot water storage tank. It assimilates the entries from the thermal solar system and the heat pump and provides the output for space heating and domestic hot water.

The calculation method has been refined using data from an existing building. To improve the accuracy of the method and to indicate errors, comparative calculations were performed according to current standards in the field of thermal insulation and building services.

Danksagung

Nun ist der Zeitpunkt gekommen, an welchem mein Studium beendet ist. Rückblickend war diese Zeit sehr wichtig für mich und ein Gewinn, weit über das erlernte Fachwissen hinaus. Ich möchte meinen Eltern für die fortwährende Unterstützung danken und vor allem dafür, dass sie Vertrauen in mich hatten. Dieser Faktor war die antreibende Kraft seit dem ersten Semester.

Hier ist es auch angebracht, meinen Kollegen Christian, Stephan und Martin für die gute, gemeinsame Zusammenarbeit zu danken, welche Voraussetzung für die Bewältigung der großen Hürden dieses Studiums war.

Die Diplomarbeit stellt den Abschluss des Studiums dar. Dass ich diese Arbeit mit Freude fertigstellen konnte und immer mehr Interesse an der Materie gewann, ist zum großen Teil meinen Betreuern Herrn Thomas Bednar und Herrn Markus Leeb zuzuschreiben. Vielen Dank, Markus, für die durchgehende Betreuung und die tolle Unterstützung bei dieser Arbeit. Herrn Bednar möchte ich besonders für die gezielten Inputs, vor allem in schwierigen Phasen der Arbeit, danken.

Ein letzter Dank gilt noch meiner Freundin Verena, die mich in guten Zeiten gelobt und in schlechten Zeiten motiviert hat. Ohne dich wäre diese Arbeit wohl nicht zu diesem Zeitpunkt fertiggestellt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1.	Motivation	9
1.2.	Zentrale Fragestellung	9
1.3.	Wesentliche Literatur	10
1.4.	Aufbau der Arbeit.....	10
2	Beschreibung des untersuchten Objektes.....	11
2.1.	Standort, Klima	11
2.2.	Gebäudetypisierung.....	12
2.3.	Energetisches Konzept.....	13
3	Grundlagen.....	15
3.1.	Energiebilanz auf Gebäudeebene.....	15
3.1.1.	Heizwärmebedarf	15
3.1.2.	Transmissionswärmetransfer.....	17
3.1.3.	Lüftungswärmetransfer.....	19
3.1.4.	Solare Wärmeeinträge.....	20
3.1.5.	Innere Wärmeeinträge.....	22
3.1.6.	Speicherung von Wärme	23
3.2.	Energiebilanz auf der Ebene der technischen Gebäudeausrüstung ...	24
3.2.1.	Solarthermische Anlage	24
3.2.2.	Wärmepumpe.....	25
3.2.3.	Verluste der Warmwasserbereitung.....	26
3.2.4.	Verluste der Raumheizung	28

3.2.5. Raumlüftungsanlage.....	30
4 Methoden - Vorgehensweise.....	31
4.1. Geometrie und Bauteile	31
4.2. Heizwärmebedarf.....	37
4.2.1. Transmission	37
4.2.2. Lüftung	39
4.2.3. Innere Lasten	39
4.2.4. Solare Gewinne.....	41
4.2.5. Berechnung der aktiven Speichermasse	43
4.3. Heizenergiebedarf.....	43
4.3.1. Warmwasserwärmebedarf.....	43
4.3.2. Wärmepumpe.....	46
4.3.3. Thermische Solaranlage.....	47
4.3.4. Hygieneschichtspeicher.....	47
4.3.5. Raumlüftungsanlage.....	48
4.3.6. Leitungen	48
4.3.7. Berechnung.....	48
5 Ergebnisse	50
5.1. Heizwärmebedarf.....	50
5.1.1. Monatsbilanzverfahren	50
5.1.2. Vereinfachtes Stundenverfahren	52
5.1.3. Modifiziertes Stundenverfahren	58
5.1.4. Vergleich der Verfahren.....	63
5.2. Heizenergiebedarf.....	66

5.2.1.	Thermische Solaranlage.....	67
5.2.2.	Warmwasserwärmebedarf.....	68
5.2.3.	Wärmebedarf für Raumheizung.....	68
5.2.4.	Anlagenverluste.....	70
5.2.5.	Wärmepumpe.....	71
5.2.6.	Bilanzierung der Wärmeflüsse der technischen Gebäudeausrüstung	73
5.3.	Endenergiebedarf	73
5.3.1.	Stromverbrauch Wärmepumpe.....	74
5.3.2.	Stromverbrauch Wasserpumpen	75
5.3.3.	Stromverbrauch Raumlüftungsanlage	76
5.3.4.	Aufsummierung Hilfsenergie.....	77
5.3.5.	Haushaltsstrom	78
5.4.	Primärenergiebedarf	78
6	Variantenstudie	79
6.1.	Vergleich mit dem Energieausweis nach OIB Richtlinie 6	79
6.1.1.	Eingangsdaten	79
6.1.2.	Ergebnisse	81
6.2.	Vergleich mit Verbrauchsdaten 2009	89
6.3.	Vergleich mit Verbrauchsdaten 2010	92
6.4.	Vergleich mit monatlichen Verbrauchsdaten 2011	94
6.5.	Variation des Speicheraufstellungsortes	96
7	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse.....	102
7.1.	Eingangsdaten.....	102
7.2.	Berechnung	102
7.3.	Fehlerquellen	103

7.3.1.	Klimadaten	103
7.3.2.	Nutzerverhalten	103
7.4.	Annahmen	104
7.5.	Ergebnisse.....	104
7.6.	Schlussfolgerungen	105
8	Abbildungsverzeichnis	106
9	Tabellenverzeichnis	111
10	Anhang	113
11	Literatur	116

1 Einleitung

1.1. Motivation

Wohnen ist ein Grundbedürfnis des menschlichen Daseins und nach wie vor mit hohem Primärenergieaufwand verbunden. Laut Statistik Austria liegt der Anteil der fossilen Energieträger in Haushalten (2009/2010) noch immer über 65% [STA11]. Diese fossilen Brennstoffe werden hauptsächlich zur Raumheizung und zur Warmwasserbereitstellung verwendet. Durch die Langlebigkeit von Gebäuden ist es jedoch unmöglich eine rasche Kehrtwendung, betreffend des Energieverbrauchs, durchzuführen. Um langfristig eine sinnvolle Lösung zu finden, werden große Bemühungen unternommen um energieeffiziente, ökologisch nachhaltige Häuser zu entwickeln. Ein bedeutender Schritt in die richtige Richtung sind sogenannte Niedrigenergiehäuser, welche heute bereits an Wirtschaftlichkeit überzeugen.

Niedrigenergiehäuser weisen einen deutlich geringeren Heizwärmebedarf als herkömmliche Gebäude auf, welcher meist mit alternativen Energieträgern wie Wärmepumpen oder thermischen Solarkollektoren gedeckt werden kann. Auch die Erzeugung von Warmwasser kann meist durch diese Installationen erfolgen. Durch eine luftdichte Bauweise werden Lüftungswärmeverluste minimiert. Vorhandene Wärme kann der Abluft entnommen und der Frischluft zugeführt werden. Die einzig benötigte, bereitgestellte Energie ist elektrischer Strom, welcher bevorzugt aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird.

1.2. Zentrale Fragestellung

Seit der Markteinführung von Passivhäusern in Österreich vor rund 20 Jahren wurden viele Fortschritte erzielt und aus Fehlern Konsequenzen gezogen. Der große Leitfaden in allen energieeffizienten Planungen ist: nicht verwendete Energie ist die verträglichste. Die Reduzierung von Heizwärmebedarf und Warmwasserbedarf ist schon im fortgeschrittenen Maße ausgereizt, nun liegt der Fokus auf Energieeinsparung bei elektrischen Geräten und Minimierung des Beleuchtungsenergiebedarfs. Gleichzeitig werden Energiebereitstellungssysteme mit Wärmepumpe, Photovoltaik und thermischen Solarkollektoren immer weiter optimiert. Um nun volkswirtschaftlich merkbare Ergebnisse zu erzielen, muss dieses Wissen in Normen niedergeschrieben und als verpflichtender Baustandard bei Neubauten festgelegt werden. Die primäre Fragestellung dieser Arbeit ist, inwiefern der tatsächliche Energieverbrauch effizient mit den aktuellen normativen

Grundlagen im Vorhinein ermittelt werden kann. Dies wird anhand eines realen Gebäudes in Niedrigenergiebauweise versucht zu beantworten. Vergleichsweise wird der Energieverbrauch mit zwei verschiedenen Rechenmodellen ermittelt. Das erste Verfahren ist ein standardisiertes Verfahren auf Monatsbasis während das zweite Verfahren auf kleineren Zeitschritten, wie Minuten oder Stunden, basiert und während dieser Arbeit weiterentwickelt und verfeinert wurde.

1.3. Wesentliche Literatur

Diese Arbeit wurde mithilfe von aktuellen Normen, wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Bereich Passivhaus und Gebäudetechnik und weiterer Literatur, wie fachspezifischen Büchern und Zeitschriften sowie Diplomarbeiten, ausgearbeitet. Die wichtigsten Quellen sind:

[RIC10] [ENI08] [ONH10] [STR10] [IPH11] [ONB10]

1.4. Aufbau der Arbeit

Um einen kurzen Überblick über das berechnete Objekt zu verschaffen, wird dieses in einem kurzen Abriss beschrieben. Anschließend werden die Grundbegriffe, welche wesentlich zum Verständnis der Arbeit beitragen, erläutert.

Der Hauptteil der Arbeit folgt mit der Beschreibung der Methoden und der Vorgehensweise bei der Berechnung. Hier werden die einzelnen Verfahren erklärt und deren Gemeinsamkeiten oder auch Eigenheiten beschrieben. Die Ergebnisse werden in weiterer Folge aus Microsoft Excel importiert, aufgeführt und verglichen.

Der Schlussteil der Arbeit besteht aus Variantenstudien zum Vergleich der Ergebnisse mit Messdaten und der aktuellen Berechnung des österreichischen Bauinstituts, sowie den abgeleiteten Schlussfolgerungen der Ergebnisse.

2 Beschreibung des untersuchten Objektes

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein Einfamilienhaus auf den tatsächlichen Energieverbrauch untersucht. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurden verschiedene Berechnungsmethoden zur Ermittlung des Energieverbrauches angewendet und ausgewertet.

2.1. Standort, Klima

Das Haus, errichtet im Jahr 2007, befindet sich in der Nähe von Ried im Innkreis (OÖ) in der Gemeinde Hohenzell (PLZ 4921). Das verwendete Klima für die Berechnung wurde mittels ÖNORM B8110-5 [ONB05] von vorhandenen Klimadaten der nahegelegenen Städte Linz und Ried im Innkreis, unter Berücksichtigung der Seehöhe und unterschiedlicher Temperaturregionen, auf den Standort angepasst. Dazu wurden die Messwerte der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) des nächstgelegenen Aufzeichnungsortes herangezogen und diese Monatsmittelwerte auf den stündlichen Verlauf der Klimadaten der Stadt Linz adaptiert. Die solaren Einstrahlungswerte stammen aus der Stadt Linz und gehen als stündliche Werte in die Berechnung ein.

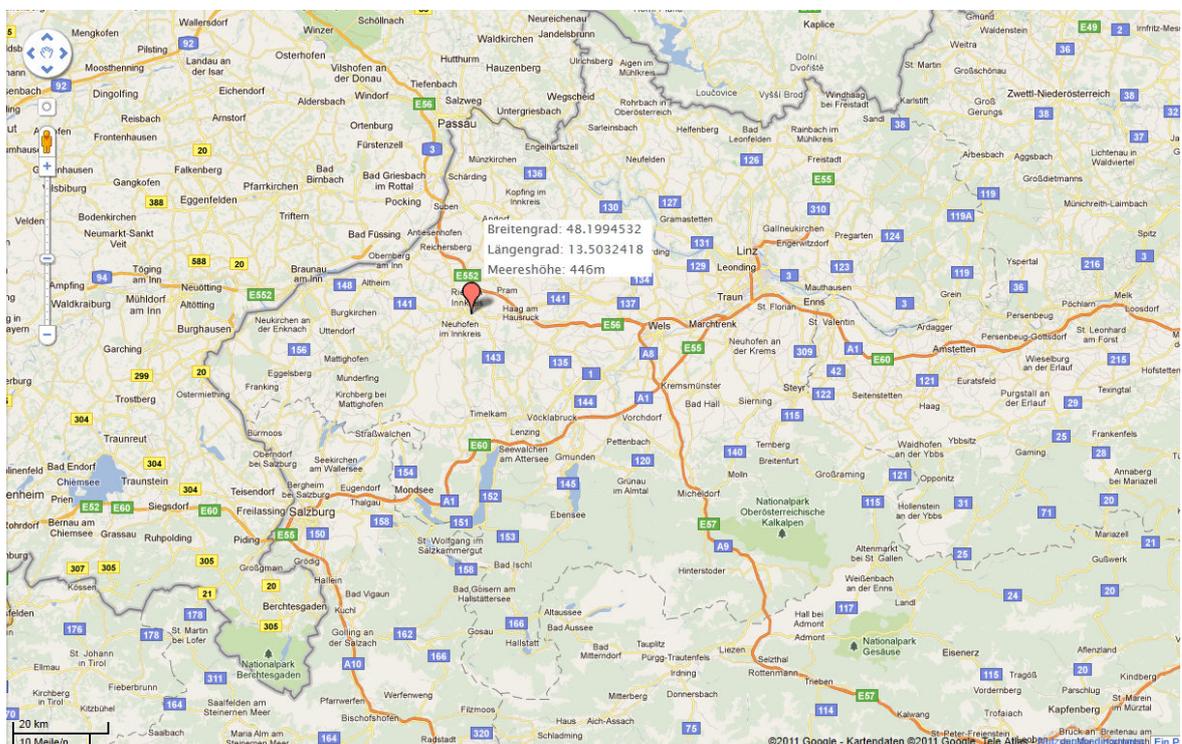


Abbildung 1 - Standort des untersuchten Gebäudes (Quelle: Google Maps 2011, Darstellung angepasst)

2.2. Gebäudetypisierung

Das Gebäude ist ein zweigeschossiges Einfamilienhaus mit Keller. Das Dach ist als Flachdach umgesetzt. Durch die Hanglage stellte sich die Realisierung einer Garage auf Kellerniveau einfach dar. Das Dach der Garage wird als Terrasse genutzt. Die Grundfläche des Bauwerks (ohne Garage) beträgt rd. 106 m².

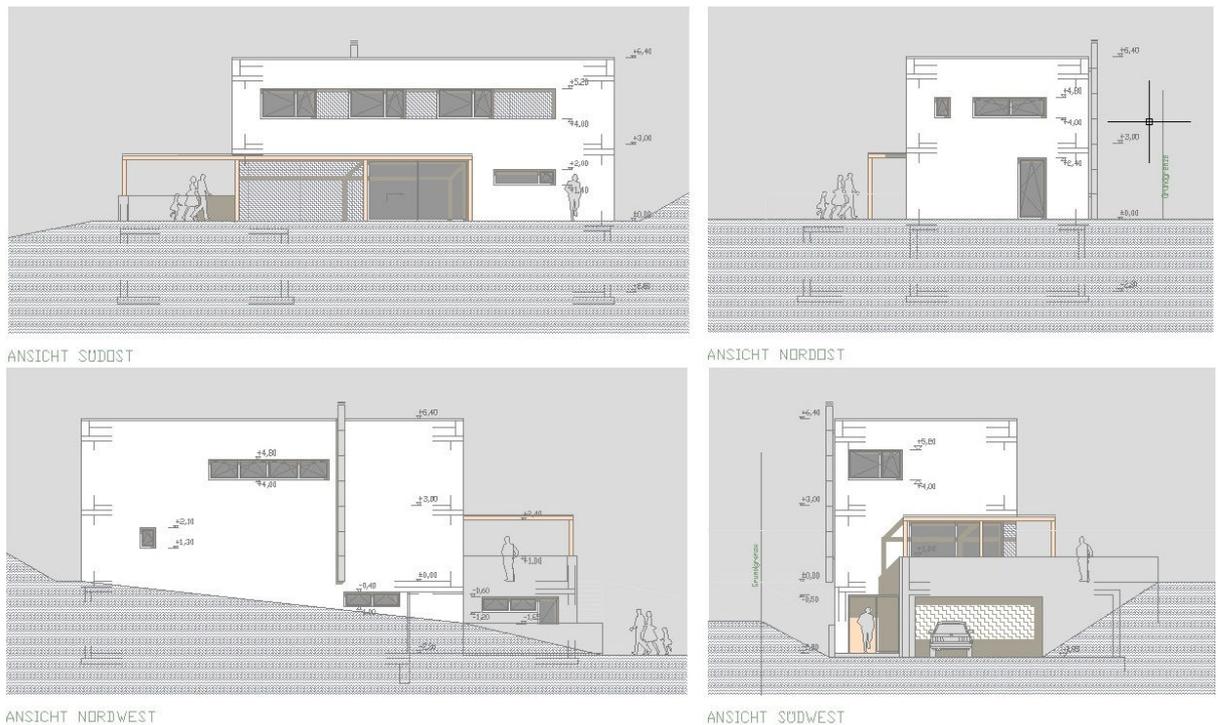


Abbildung 2 - Ansichten des untersuchten Objekts (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)

Der Wohnbereich teilt sich auf drei Ebenen auf: Der Eingang und die Garderobe befinden sich im Kellergeschoss. Zu finden sind hier auch die Gebäudetechnik und zwei größere Räume undefinierter Nutzung. Im Erdgeschoss sind Küche, Ess- und Wohnzimmer mit angeschlossener Terrasse situiert. Ergänzend sind der Wirtschaftsraum und ein Lagerraum für Nahrungsmittel hier untergebracht. Das Obergeschoss beherbergt drei Schlafzimmer, ein Badezimmer und einen Stauraum.

Die Außenhülle des Hauses besteht aus Beton, wobei in den oberirdischen Geschossen Fertigteile aus Leca-Beton eingesetzt wurden. Auch Innenwände bestehen aus diesem speziellem Beton wodurch die Bauzeit erheblich verkürzt wurde, da Fertigteile zum Einsatz kamen. Zusätzlich wird durch diesen Baustoff eine große Speichermasse für ein gutes Auskühl- und Aufheizverhalten erreicht. Um von dieser Eigenschaft auch wirklich profitieren zu können, ist es erforderlich eine ausreichende Wärmedämmung außerhalb

dieser Speichermasse aufzubringen. Dies wurde in den oberirdischen Geschossen mittels 23 cm zementgebundenem EPS ($\lambda = 0,044 \text{ W/mK}$) realisiert, wodurch die Außenwand einen U-Wert von $0,150 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht. Das technische Datenblatt des Wandaufbaus ist im Anhang zu finden. Die oberste Geschossdecke ist als Flachdach mit Beschüttung ausgebildet und weist einen U-Wert von $0,128 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf. Durch die kompakte Bauweise mit Flachdach wird ein sehr gutes A/V-Verhältnis erzielt. Der Wohnbereich ist thermisch vom Kellergeschoss, mit Ausnahme des Treppenaufganges und der Garderobe, getrennt. Im Keller selbst ist nur eine teilweise Innendämmung vorhanden. Die Fenster besitzen 2-Scheibenisolierverglasung mit einem U-Wert von $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem solaren Gesamtenergiedurchlassgrad von $g = 0,63$. Durch große Fensterflächen an der Südseite des Hauses mit außenliegenden Verschattungselementen werden solare Gewinne im Winter maximiert und ausreichender Tageslichteintrag sichergestellt, während im Sommer bei höheren Sonnenständen der Eintrag signifikant verringert wird.

2.3. Energetisches Konzept

Um das Gebäude energieeffizient zu heizen, ist es mit einer großflächigen Fußbodenheizung ausgestattet. Großflächige Heizungselemente benötigen weit geringere Vorlauftemperaturen und weisen somit geringere Verluste an die Umgebung auf. Eine, am Dach montierte, Solaranlage mit einer Fläche von $13,2 \text{ m}^2$ und eine Luft-Wasser-Wärmepumpe sind ausreichend, um die benötigten Vorlauftemperaturen für Heizung und Warmwasser zu generieren.

Die durchdachte Bewirtschaftung des vorhandenen Schichtwärmespeichers erhöht die Effizienz dieser Heizungsanlage. Sollte die gelieferte Energie von Wärmepumpe und solarthermischer Anlage (z.B. an kalten, nebeligen Tagen) nicht ausreichen, so besteht die Möglichkeit einer direkten Beheizung des Speichers mit einer Elektrolanze.

Einen weiteren, unumgänglichen Bestandteil einer effizienten Heizungsanlage stellt die Raumlüftungsanlage mit integrierter Wärmerückgewinnung dar. Um diese Anlage ordnungsgemäß betreiben zu können, muss bereits während der Bauphase auf eine gewisse Luftdichtheit des Gebäudes geachtet werden. Zusammenfassend wird ersichtlich, dass die Gebäudetechnik das Herzstück zur energieeffizienten Bewirtschaftung des Hauses ist, welches ausschließlich elektrischen Strom als bereitgestellte Energie benötigt.

Somit weist das Gebäude alle typischen Kennzeichen eines gut geplanten Niedrigenergiebaus auf [RIC10]:

- Kompakte Bauweise
- Hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle
- Kontrollierte Lüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung und geringem Ventilatorstrombedarf
- Sehr guter Wärmeschutz der Außenhülle
- Lage, Fläche, Qualität und Sonnenschutz der Fenster sind so gewählt, dass ein minimaler Heizwärmebedarf erreicht und sommerliche Überwärmung verhindert wird
- Angepasste Heizsysteme, die die Räume nicht überwärmen
- Minimierung der Anlagenverluste im Bereich Warmwasser und Raumheizung
- Einsatz von Sonnenkollektoren

3 Grundlagen

Nach der Beschreibung des Gebäudes werden im Folgenden die, zum Einsatz gekommenen, Rechenverfahren genauer erläutert. Zum einen wurden die energiebezogenen Kenngrößen des Gebäudes mittels Monatsbilanzverfahren nach ÖNORM B8110-6 [ONB10] ermittelt. Zum anderen wurde ein Berechnungsverfahren auf Stundenbasis entwickelt, welches die Berücksichtigung von stunden-, tages-, oder wochenbezogenen Nutzungsprofilen erlaubt. Das erstgenannte dieser beiden Grundverfahrensarten ist quasi-stationär und berechnet die Wärmebilanz für ausreichend große Zeiträume, wobei dynamische Auswirkungen durch einen empirisch bestimmten Ausnutzungsgrad der Einträge und Verluste berücksichtigt werden. Hingegen ist das Stundenverfahren dynamisch und kann in der Gebäudemasse gespeicherte und freigesetzte Wärme mit einbeziehen.

Im Vergleich zu einer Gebäudesimulation erlauben beide Berechnungsmethoden eine kompakte und übersichtliche Handhabung. Mängel und Unsicherheiten bei diesen Berechnungsmethoden werden im späteren Verlauf dieser Arbeit behandelt.

Bei der Aufstellung der Energiebilanz von Gebäuden werden diese, je nach Situation, in eine oder mehrere Zonen aufgeteilt. Im untersuchten Gebäude wurde nur eine Zone verwendet. Zusätzlich ist die Energiebilanz zweigeteilt. Erstens, in die Energiebilanz auf Gebäudeebene und zweitens auf der Ebene der technischen Gebäudeausrüstung [ENI08].

3.1. Energiebilanz auf Gebäudeebene

3.1.1. Heizwärmebedarf

Als Heizwärmebedarf (HWB) versteht sich die notwendige Wärmemenge, um ein Gebäude innerhalb eines Jahres über einer gewünschten Temperatur zu halten. Um diesen Kennwert zu erhalten ist die Bestimmung der Wärmeübertragung von innen nach außen und die Ermittlung der Wärmegewinne durch solare Einstrahlung, Personen, Geräte, Beleuchtung, etc. erforderlich. Analog zum HWB definiert sich der Kühlbedarf als die entzogene Wärmemenge, um eine gewünschte Innentemperatur nicht zu überschreiten. Als zusätzlicher Punkt ist noch die Fähigkeit des Gebäudes, Wärme zu speichern von Bedeutung [RIC10]. Das Resultat, der Bilanzierung von Gewinnen und Verlusten, ist die Grundlage für die anschließende Berechnung des Heizenergiebedarfs.

HWB nach dem Monatsbilanzverfahren:

Der monatliche HWB nach dem Monatsbilanzverfahren ergibt sich nach EN ISO13790 [EN108] wie folgt:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$

Dabei ist

$Q_{H,ht}$ der monatliche Gesamtwärmetransfer für den Heizbetrieb, in kWh

$Q_{H,gn}$ die Gesamtheit der Wärmeeinträge in einem Monat für den Heizbetrieb, in kWh

$\eta_{H,gn}$ der dimensionslose Ausnutzungsgrad der Einträge

HWB nach dem Stundenverfahren:

Der HWB definiert sich in diesem Verfahren als der stundenbezogene Wert des Heizwärmebedarfs $Q_{HC,nd}$, in kWh.

Die stündliche Heizleistung selbst wird im Stundenverfahren durch Bilanzierung der Gewinne und Verluste ermittelt und stellt die erforderliche Wärmeleistung dar um die gewünschte Raumtemperatur nicht zu unterschreiten. In der implizierten Schreibweise zur Berechnung der aktuellen Innentemperatur wurde eine außentemperaturabhängige Heizleistung zugeführt. In der Weiterentwicklung des Verfahrens wurde die tatsächliche Wärmeabgabe vom Heizungssystem an den Innenraum berechnet. Die rekursive Grundgleichung der Berechnung lautet wie folgt:

$$t_i = t_{i-1} + (\phi_{gew,i} - \phi_{verl,i}) \cdot 3600/C_m$$

dabei ist

t_i die Innentemperatur der Gebäudezone zur Stunde i, in °C

$\Phi_{gew,i}$ die Summe der Wärmeeinträge in das Gebäude zur Stunde i, in W

$\Phi_{verl,i}$ die Summe der Wärmeverluste des Gebäudes zur Stunde i, in W

C_m die wärmespeicherfähige Masse des Gebäudes, in J/K

Die stündlichen Wärmeeinträge setzen sich wie folgt zusammen:

$$\phi_{gew,i} = \phi_{sol,i} + \phi_{hc,i} + \phi_{int,i} + \phi_{rückgew,i}$$

dabei ist

- $\Phi_{sol,i}$ der solare Wärmeeintrag in die Gebäudezone zur Stunde i, in W
- $\Phi_{hc,i}$ die Heizleistung, abgegeben in die Gebäudezone zur Stunde i, in W
- $\Phi_{int,i}$ der innere Wärmeeintrag durch Personen und elektrischen Geräten zur Stunde i, in W
- $\Phi_{rückgew,i}$ der innere Wärmeeintrag durch rückgewonnene Verluste der Haustechnik zur Stunde i, in W

Die stündlichen Wärmeverluste summieren sich aus

$$\phi_{verl,i} = \phi_{t,i} + \phi_{lv,i} + \phi_{rt,i}$$

mit

- $\Phi_{t,i}$ den Wärmeverlusten durch Transmission zur Stunde i, in W
- $\Phi_{lv,i}$ den Lüftungswärmeverlusten zur Stunde i, in W
- $\Phi_{rt,i}$ den Wärmeverlusten der Haustechnik zur Stunde i, in W

Die genaue Bestimmung der Wärmeströme wird in den folgenden Unterkapiteln genauer erläutert.

3.1.2. Transmissionswärmetransfer

Ausgangsbasis für die Berechnung stellte die ÖNORM B 8110-6 [ONB10]. An erster Stelle stand die Ermittlung der, für die Berechnung erforderlichen, Geometrie und Abmessungen. Anschließend wurden die verwendeten Bauteile, wie Außenwände, Fenster, etc., definiert und deren bauphysikalisch relevanten Kenngrößen, wie U-Werte und flächenbezogene Speichermassen, ermittelt. Mit diesen Werten ließ sich bereits der Leitwert für den oberirdisch gelegenen Gebäudeteil bestimmen. Für den erdberührten Teil des Gebäudes ist der Leitwert, aufgrund einer saisonalen Temperaturphasenverschiebung, aus stationären sowie harmonischen Anteilen zusammengesetzt. Für diesen Teil der Berechnung wurde die EN ISO 13370 [ENI07] herangezogen. Über die bauphysikalischen Eigenschaften der Wände und der

Bodenplatte hinausgehend, sind die Transmissionsverluste durch das Kellergeschoss abhängig von der Außentemperatur, der Bodenart, der Tiefe unter der Erdoberfläche dem Verhältnis von Fläche zu Umfang der Bodenplatte und einer eventuell vorhandenen Randdämmung.

Ein weiterer Teil des Transmissionsleitwertes ergibt sich aus dem Vorhandensein von Wärmebrücken. Zum einen sind dies geometrische Bereiche bei denen eine kleine, wärmeaufnehmende Fläche auf der Innenseite einer großen, wärmeabgebenden Fläche auf der Außenseite gegenübersteht (geometrische Wärmebrücken, u.a. Ecken, Auskragungen, etc.). Zum anderen liegen Wärmebrücken bei Änderungen der Wärmeleitfähigkeit bei inhomogenen Bauteilen vor. Da für die Berechnung von Wärmebrücken ein genauer geometrischer und stofflicher Aufbau bekannt sein muss und diese nur numerisch durchgeführt werden kann, wurde die Existenz von Wärmebrücken mit einem Leitwertzuschlag von 10 % des Transmissionsleitwertes berücksichtigt.

Schließlich werden, mit dem vorhandenen Gesamtleitwert und dem Temperaturunterschied von innen und außen, die gesamten Transmissionswärmeverluste des Gebäudes berechnet.

Für das Monatsbilanzverfahren ergibt sich der Gesamtwärmetransfer durch Transmission Q_{tr} nach:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_e)t$$

dabei ist

$H_{tr,adj}$ der Gesamt-Transmissionswärmekoeffizient der Zone in W/K

$\theta_{int,set,H}$ die Solltemperatur der Gebäudezone, in °C

θ_e der monatliche Mittelwert der Außentemperatur, in °C

t die Dauer des Berechnungsschrittes

Beim vereinfachten Stundenverfahren ergeben sich die Transmissionswärmeverluste aus dem zuvor ermitteltem Transmissionsleitwert und der aktuellen Temperaturdifferenz in der berechneten Stunde.

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{i,t} - \theta_{e,t})t$$

dabei ist

$H_{tr,adj}$ der Gesamt-Transmissionswärmekoeffizient der Zone in W/K

$\theta_{i,t}$ die aktuelle Innentemperatur der konditionierten Zone, in °C

$\theta_{e,t}$ die aktuelle Außentemperatur, in °C

t die Dauer des Berechnungsschrittes

Die monatlichen Verluste an das Kellergeschoss wurden aus der Berechnung nach EN ISO 13370 [ENI07] übernommen und gleichmäßig in Stundenwerte aufgeteilt.

3.1.3. Lüftungswärmetransfer

Um im Inneren eines Gebäudes gute Luftqualität sicherzustellen, muss ein regelmäßiger Austausch der verbrauchten Innenluft mit frischer Außenluft erfolgen. Dies kann manuell, durch Öffnen von Fenstern und Türen, oder automatisch, mit einer Lüftungsanlage, erfolgen. Ein zusätzlicher Bestandteil der Lüftung ist der ungewollte Luftwechsel über Spalten und Fugen, genannt Infiltrationsluftwechsel. Bei Gebäuden in Niedrigenergiebauweise muss dieser Wert bereits während der Bauphase überprüft und minimiert werden. Diese Prüfung ist bekannt unter dem Namen "Blower Door Test" [RIC10]

Eine wichtige Funktion bei mechanischen Lüftungsanlagen übernimmt der Wärmetauscher. Er entzieht der Abluft Wärme und gibt diese an die Frischluft weiter. Je nach Wärmebereitstellungsgrad bleibt ein Anteil von 45-65% der, in der Luft vorhandenen, Wärme im Gebäude [ENI08, ONB10].

Für das Monatsbilanzverfahren ergibt sich der Gesamtwärmetransfer durch Lüftung wie folgt:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{int,H,set} - \theta_e)t$$

dabei ist

$H_{ve,adj}$ der Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient, in W/K

$\theta_{int,H,set}$ die Solltemperatur der Gebäudezone für Heizen, in °C

θ_e der monatliche Mittelwert der Außentemperatur, in °C

t die Dauer des Berechnungsschrittes

Für das Stundenverfahren ergibt sich der Gesamtwärmetransfer durch Lüftung analog zu:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{i,t} - \theta_{e,t})t$$

dabei ist

- $H_{ve,adj}$ der Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient, in W/K
- $\theta_{i,t}$ die aktuelle Innentemperatur der Gebäudezone, in °C
- $\theta_{e,t}$ die aktuelle Außentemperatur, in °C
- t die Dauer des Berechnungsschrittes

Dabei wird $H_{ve,adj}$ nach folgender Formel ermittelt nach [ENI08]:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \cdot \sum_k b_{ve,k} q_{ve,k,mn}$$

dabei ist

- $\rho_a c_a$ die volumenbezogene Speicherfähigkeit von Luft, in J/m³K
- $q_{ve,k,mn}$ der zeitlich gemittelte Luftvolumenstrom des Luftvolumenstromelementes k, in m³/s
- $b_{ve,k}$ der Temperaturanpassungsfaktor wenn die Zulufttemperatur ungleich der Außenlufttemperatur ist (Wärmerückgewinnung, Vorheizung, etc.)
- k das relevante Luftvolumenstromelement (Infiltration, freie Lüftung, maschinelle Lüftung, zusätzliche Lüftung für nächtliches Kühlen)

3.1.4. Solare Wärmeeinträge

Ein weiterer Bestandteil der HWB-Berechnung ist die Ermittlung des solaren Wärmeeintrags durch Fensterflächen. Nach W. Feist [IPH11] sollte die Solarapertur möglichst genau erfasst werden um hier realistische Ergebnisse zu erhalten. Die pauschale Abschätzung von Verglasungsanteilen oder auch die nicht berücksichtigte Verschmutzung oder Verschattung führt zu viel zu optimistischen Erwartungen des solaren Eintrags.

Ausgehend von den Messwerten der Klimadatenbank Standort Linz wurden die stündlichen Einstrahlungswerte auf die Koordinaten des Hauses in Hohenzell übertragen und die Strahlungsleistung auf die unterschiedlich orientierten Fassadenflächen ermittelt. Mit diesen Werten [kWh/m²] kann nun über die verglasten Flächen, den Energiedurchlassgrad und Faktoren zur Abschwächung der Einstrahlung (z.B.: Verschmutzung, Verschattung) die eingestrahlte Wärmeenergie berechnet werden.

Die vereinfachte Formel (ohne angrenzende, nicht konditionierte Räume) für das Monatsbilanzverfahren lautet nach [ENI08]:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) t$$

mit

$\Phi_{sol,mn,k}$ dem zeitlich gemittelten Wärmestrom der solaren Wärmequelle, in W

t der Länge des betrachteten Monats, in h

Für das vereinfachte Stundenverfahren berechnet sich der solare Wärmeeintrag analog:

$$\Phi_{sol} = \sum_k \Phi_{sol,k}$$

mit

$\Phi_{sol,k}$ dem stundenbezogenen Wärmestrom der solaren Quelle k, in W

Diese Wärmeströme durch solare Einträge durch ein Bauteil k ergeben sich nach [ENI08] zu:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k}$$

Dabei ist

$F_{sh,ob,k}$ der Verschattungsfaktor durch außen liegende Hindernisse

$A_{sol,k}$ die wirksame Kollektorfläche der Oberfläche k mit Ausrichtung und Neigungswinkel, in m²

$I_{sol,k}$ die solare Bestrahlungsstärke je Quadratmeter Kollektorfläche, in W/m²

$F_{r,k}$ der Formfaktor zwischen dem Bauteil und dem Himmel

$\Phi_{r,k}$ der zusätzliche Wärmestrom aufgrund der vom Bauteil ausgehenden Wärmestrahlung an den Himmel, in W/m^2

Da es sich beim untersuchten Gebäude um ein gut gedämmtes Objekt mit Umkehrdach handelt und die Oberflächen des Gebäudes reflektierend weiß sind, wird der Anteil der solaren Wärmeeinträge und der Wärmeabstrahlung an den Himmel durch opake Bauteile vernachlässigt. Die getroffenen Annahmen und Eingangsdaten sind für das Monatsverfahren und das vereinfachte Stundenverfahren ident.

3.1.5. Innere Wärmeeinträge

Wärme, die durch den Betrieb elektrischer Geräte, Beleuchtung oder durch Anwesenheit von Personen in die konditionierte Zone eingebracht wird, findet Berücksichtigung in den inneren Wärmeeinträgen. Im Unterschied zum Monatsverfahren, welches m^2 -bezogene Werte für die Wärmeeinträge verwendet, können beim vereinfachten Stundenverfahren täglich oder wöchentlich definierte Anwesenheits- und Betriebsprofile auf Stundenbasis verwendet werden. Ein weiterer Schritt in dieser Berechnung ist das Erfassen der nicht geregelten Wärmeeinträge durch das Heiz- und Warmwasserabgabesystem.

Die vereinfachte Formel (ohne angrenzende, nicht konditionierte Räume) für das Monatsbilanzverfahren lautet nach [ENI08]:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \right) t$$

mit

$\Phi_{int,mn,k}$ dem zeitlich gemittelten Wärmestrom der inneren Wärmequelle, in W

t der Länge des betrachteten Monats, in h

Mit dem vereinfachten Stundenverfahren berechnet sich der interne Wärmeeintrag analog nach:

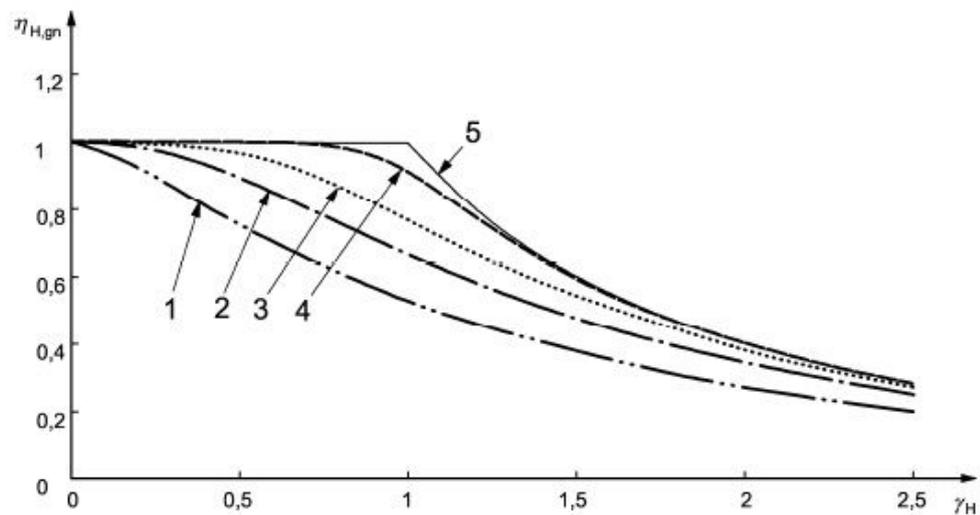
$$\Phi_{int} = \sum_k \Phi_{int,k}$$

mit

$\Phi_{int,k}$ dem stundenbezogenen Wärmestrom der internen Wärmequelle k , in W

3.1.6. Speicherung von Wärme

Die Wärmespeicherung eines Gebäudes beeinflusst das thermische Verhalten indem es Gewinne und Verluste zeitlich aufweicht. Je nach Bauweise sind in der konditionierten Zone mehr oder weniger wärmespeichernde Bauteile vorhanden. In Verbindung mit einer gut gedämmten Außenhülle wird dem Gebäude, durch die wirksame Speicherkapazität C_m , eine thermische Trägheit verliehen. Dadurch wird bei längeren Hitzeperioden überschüssige Wärme in den massiven Bauteilen aufgenommen. Im Gegensatz dazu zehrt das Haus bei Kälteperioden von dieser gespeicherten Wärme. Beschrieben wird dieses Verhalten durch die Zeitkonstante des Gebäudes [RIC10].



Legende

- 1 Zeitkonstante von acht Stunden (geringe Trägheit)
- 2 Zeitkonstante von einem Tag
- 3 Zeitkonstante von zwei Tagen
- 4 Zeitkonstante von sieben Tagen
- 5 unbegrenzte Zeitkonstante (hohe Trägheit)

Abbildung 3 - Veranschaulichung des Ausnutzungsgrades der Einträge für verschiedene Zeitkonstanten gültig für das Monats-Berechnungsverfahren (Quelle: EN ISO 13790:2008 [ENI08])

Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs unterscheidet sich die Einbeziehung der wirksamen Speicherkapazität je nach Berechnungsverfahren. Bei Verwendung des Monatsbilanzverfahrens ist die Nettomenge der gespeicherten oder freigesetzten Wärme aufgrund des dynamischen Verhaltens vernachlässigbar, während sie beim vereinfachten Stundenverfahren den bestimmenden Faktor zur Ermittlung der operativen Raumtemperatur darstellt [ENI08].

3.2. Energiebilanz auf der Ebene der technischen Gebäudeausrüstung

In dieser Bilanz wird die Energiemenge aufgestellt um den benötigten Heizwärme- bzw. Kühlbedarf des Gebäudes zu decken [ENI08]. Zur Ermittlung des Heizenergiebedarfs (HEB) wird das tatsächliche Heizungssystem abgebildet und dessen Komponenten einzeln berechnet [ONH10]. Ein weiterer wichtiger Punkt für diese Energiebilanz ist die Erzeugung von Warmwasser.

3.2.1. Solarthermische Anlage

Die thermische Solaranlage ermöglicht die Nutzung der von der Sonne eingestrahlt Wärmeenergie zur Unterstützung bei der Trinkwassererwärmung und der Raumheizung. Typischerweise wird durch den Einsatz einer thermischen Solaranlage der Verbrauch an herkömmlich erzeugter Wärme verringert. Damit einhergehend ergibt sich eine Verkürzung der Betriebsdauer des herkömmlichen Wärmeerzeugers. Um die Solaranlage zu betreiben, bedarf es elektrischer Energie welche in der Energiebilanz mit einbezogen werden muss. Die Berechnung der Leistung der thermischen Solaranlage umfasst nach [DIN07]:

- die Einbeziehung der Leistungsindikatoren der Anlage aus den Ergebnissen von Prüfungen
- die Bestimmung der Solarleistung
- die Bestimmung des Hilfsenergieverbrauchs der Hilfseinrichtungen der thermischen Solaranlage
- die Berechnung der Systemwärmeverluste
- die Berechnung der rückgewinnbaren Verluste

Die aktuelle Bruttowärmeertrag des Kollektors berechnet sich nach [ONH10] zu:

$$Q_{sol,B,t} = A_{Ap} \cdot I_{S,t} \cdot H \cdot \eta_{sol}$$

dabei ist

$Q_{sol,B,t}$ der Wärmeeintrag des Kollektors zur Stunde t

A_{Ap} die Aperturfläche des Sonnenkollektors, in m²

$I_{S,t}$ die Globalstrahlung auf die Kollektorfläche zur Stunde t, in kW/m²

H der Besonnungsfaktor der Solaranlage

η_{sol} der solare Wirkungsgrad des Kollektors

3.2.2. Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe ist ein Gerät, welches nach dem Carnot'schem Prinzip einem Reservoir (Luft, Grundwasser, Erdreich) Wärme entzieht und diese dem Heizsystem eines Gebäudes zuführt. Die Effizienz der Wärmepumpe hängt von der Temperaturspanne und den Wärmespeicherkapazitäten der verwendeten Medien ab und wird in der Leistungszahl (COP = Coefficient of Performance) ausgedrückt. Diese Leistungszahl berechnet sich nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und beruht auf einer verlustfreien Wärmeproduktion. Um einen realistischeren Wert zur Beurteilung der Wärmepumpe zu erhalten, gibt der Gütegrad der Wärmepumpe das Verhältnis aus theoretischer Leistung und tatsächlicher Leistung wieder. Der Gütegrad berechnet sich nach [ONH10] zu:

$$f_0 = COP_N \frac{t_s - t_q}{t_0 + t_s}$$

dabei ist

f_0 der Gütegrad der Wärmepumpe

COP_N die Leistungszahl der Wärmepumpe am Normpunkt (Prüfwert)

t_s die durchschnittliche Zieltemperatur des Ausgabemediums in °C

t_q die durchschnittliche Quelltemperatur des Eingangsmediums in °C

t_0 die Absoluttemperatur bei 0°C, in K

Die aktuelle Leistungszahl der Wärmepumpe ergibt sich somit nach [ONH10] zu:

$$COP_t = f_0 \frac{t_0 + t_{s,t}}{t_{s,t} - t_{q,t}}$$

dabei ist

COP_t die aktuelle Leistungszahl der Wärmepumpe

f_0 der Gütegrad der Wärmepumpe

$t_{s,t}$ die aktuelle Zieltemperatur des Ausgabemediums, in °C

$t_{q,t}$ die aktuelle Quelltemperatur des Eingangsmediums, in °C

Die Berechnung der Wärmeleistung und der erforderlichen elektrischen Hilfsenergie wird, aufgrund der temperaturabhängigen Leistungsschwankung, mit den stündlichen Werten der Quell- und Zieltemperatur durchgeführt.

3.2.3. Verluste der Warmwasserbereitung

Die Verluste umfassen alle Stellen des Warmwasserbereitungssystems, an denen ungewollt Wärmeenergie verloren geht:

- Verluste bei der Wärmeabgabe
- Verluste bei der Warmwasserverteilung
- Verluste des Warmwasserspeichers
- Verluste der Wärmebereitstellung

Da diese Verluste teilweise in die konditionierte Zone eingetragen werden, können diese in der Bilanzierung als eingetragene Wärme berücksichtigt werden.

Nach ÖNORM H5056 [ONH10] werden die Verluste bei der Warmwasserbereitung wie folgt ermittelt:

$$Q_{TW} = Q_{TW,WA} + Q_{TW,VW} + Q_{TW,WS} + Q_{TW,WB}$$

Verluste der Wärmeabgabe Warmwasser

Dieser Bereich umfasst die Verluste, welche direkt am Entnahmeort des Warmwassers auftreten. Konkret wird dabei die Regelung der Entnahmearmaturen genauer betrachtet.

Die Berechnung der Verluste erfolgt folgendermaßen:

$$Q_{TW,WA} = q_{TW,WA} \cdot BF \cdot d_{Nutz}$$

dabei ist

$q_{TW,WA}$ der spezifische Wärmeverlust pro Quadratmeter beheizter Nutzfläche, in W/m^2

d_{Nutz} die Betriebsdauer der Warmwasserbereitung

Verluste der Warmwasserverteilung

Grundsätzlich lassen sich die Verluste im Bereich Warmwasserverteilung durch die vorhandenen Rohrleitungslängen, deren Wärmedämmung und dem

Temperaturunterschied zur Umgebung berechnen. Somit ist zu differenzieren in welchen Bereichen des Gebäudes die Rohre verlegt sind.

$$Q_{TW,WV} = \sum_k q_{TW,Ro,k} \cdot \Delta t_{iu,k} \cdot l_k \cdot d_{Nutz} + q_{TW,Ro,Stich,k} \cdot l_k \cdot d_{Nutz}$$

dabei ist

$q_{TW,Ro,k}$ die Wärmeleitfähigkeit der betrachteten Verteilleitung k, in W/m.K

$\Delta t_{iu,k}$ die Temperaturdifferenz zwischen inhärentem Wasser und Umgebung der Verteilleitung k, in K

$q_{TW,Ro,Stich,k}$ die Wärmeleitfähigkeit der Stichleitung k, in W/m

Der zweite Anteil der Gleichung stellt die Verluste dar, die zufolge des Auskühlens bzw. des Aufheizens der Stichleitungen entstehen.

Verluste des Warmwasserspeichers

Um die Verluste des Warmwasserspeichers zu bestimmen ist die mittlere Temperatur des Speichers, die Umgebungstemperatur am Aufstellungsort des Speichers und seine Dämmeigenschaften (U-Wert) erforderlich.

$$Q_{TW,WS} = \sum_k q_{SP} \cdot h_k \cdot \Delta t_k$$

dabei ist

q_{SP} die Wärmeleitfähigkeit des Speichers, in W/m.K

h_k die gewählte Schichthöhe des Speichers, in m

Δt_k die Temperaturdifferenz der Speicherschicht k und Umgebung, in K

Verluste der Wärmebereitstellung

Die Verluste in der Wärmebereitstellung sind auf die Betriebseigenschaften des Heizkessels oder andere Wärmeabgabesysteme zurückzuführen. Da im Falle des untersuchten Objektes eine Wärmepumpe und eine Solaranlage vorhanden sind, werden diese Verluste in deren Berechnung mit einbezogen.

3.2.4. Verluste der Raumheizung

Analog zu den Verlusten der Warmwasserbereitung werden auch hier alle Stellen des Raumheizungssystems erfasst, an denen ungewollt Wärme verloren geht:

- Verluste bei der Wärmeabgabe in den Raum
- Verluste bei der Wärmeverteilung der Raumheizung
- Verluste des Wärmespeichers der Raumheizung
- Verluste der Wärmebereitstellung der Raumheizung

$$Q_H = Q_{H,WA} + Q_{H,WV} + Q_{H,WS} + Q_{H,WB}$$

Auch hier wird ein Teil der Verluste in die konditionierte Zone eingetragen und kann bei der Wärmebilanz berücksichtigt werden.

Verluste bei der Wärmeabgabe in den Raum

Die Verluste bei der Wärmeabgabe in den Raum sind durch die Regelung der einzelnen Heizkreise sowie die Art des Wärmeabgabesystems bestimmt. Grundsätzlich gilt, dass mit steigender Genauigkeit der Regelung die Abgabeverluste sinken.

$$Q_{H,WA} = q_{H,WA} \cdot BF \cdot d_{Heiz}$$

dabei ist

$q_{H,WA}$ der spezifische Wärmeverlust pro Quadratmeter beheizter Nutzfläche, in W/m^2

d_{Nutz} die Betriebsdauer der Raumheizung

Verluste bei der Wärmeverteilung der Raumheizung

Analog zu den Verteilungsverlusten bei der Warmwasserbereitung werden die Verluste des Rohrleitungssystems der Raumheizung ermittelt. Ausgehend von der Vor- bzw. Rücklauftemperatur, der Umgebungstemperatur der Leitung und deren thermischer Qualität steigen die Verluste proportional mit den Heizsystemtemperaturen an.

$$Q_{H,WV} = \sum_k q_{H,Ro,k} \cdot \Delta t_{iu,k} \cdot l_k \cdot d_{Nutz}$$

dabei ist

$q_{H,R0,k}$ die Wärmeleitfähigkeit der betrachteten Leitung k, in W/m.K

$\Delta t_{iu,k}$ die Temperaturdifferenz zwischen inhärentem Wasser und Umgebung der Leitung k, in K

Verluste des Wärmespeichers der Raumheizung

Um die notwendige Vorlauftemperatur für das Heizsystem bereitzustellen, muss die Speichertemperatur zu Betriebszeiten höher angesetzt sein. Die Verluste ergeben sich aus der mittleren Speichertemperatur, der thermischen Qualität des Speichers und der Anschlusssteile und der Umgebungstemperatur am Aufstellungsort.

$$Q_{H,WS} = \sum_k q_{SP} \cdot h_k \cdot \Delta t_k$$

dabei ist

q_{SP} die Wärmeleitfähigkeit des Speichers, in W/m.K

h_k die gewählte Schichthöhe des Speichers, in m

Δt die Temperaturdifferenz der Speicherschicht k und Umgebung, in K

Verluste der Wärmebereitstellung der Raumheizung

Die Bereitstellungsverluste des Wärmeabgabesystems ergeben sich durch den Wirkungsgrad des verwendeten Systems. Analog zur Warmwasserbereitung werden diese Verluste im speziellen Fall bei der Berechnung der Wärmepumpe bzw. der Solaranlage berücksichtigt.

3.2.5. Raumlüftungsanlage

Raumlüftungsanlagen gewährleisten die Versorgung der Nutzer eines Gebäudes mit Frischluft. Sind diese mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet, so wird ein Teil der Wärme der Abluft, welche bei konventioneller Fensterlüftung ungenutzt entweicht, zur Erwärmung der Zuluft verwendet. Dabei charakterisiert der Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage die erreichte Erhöhung der Zulufttemperatur bezogen auf die maximal mögliche Temperaturerhöhung. Die Ermittlung des Lüftungsleitwertes wird in Kap. 3.1.3 beschrieben. Der Temperaturanpassungsfaktor $b_{ve,k}$ wird nach [ENI08] wie folgt ermittelt:

$$b_{ve,k} = (1 - f_{ve,frac,k} \times \eta_{hru})$$

dabei ist

$f_{ve,frac,k}$ der Anteil des betrachteten Luftvolumenstromelements k , der durch die Rückgewinnungseinheit geführt wird

η_{hru} der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungseinheit

Während sich diese Energierückgewinnung auf die Energiebilanz der technischen Gebäudeausrüstung positiv auswirkt, muss die dafür verwendete elektrische Hilfsenergie auf der Negativseite der Bilanz berücksichtigt werden.

4 Methoden - Vorgehensweise

In diesem Abschnitt der Diplomarbeit wird dokumentiert, welche praktischen Berechnungsabläufe generiert und verwendet wurden, um aussagekräftige Ergebnisse des Energiebedarfs des Gebäudes zu erhalten. Grundsätzlich wurde die Berechnung mittels Microsoft Excel durchgeführt. Darin wurden das Monatsverfahren und das Stundenverfahren mit denselben Eingangsdaten versehen und die Ergebnisse verglichen. Bei der stündlichen Berechnung wurde zunächst ein vereinfachtes Modell zur Berechnung des HWB eingeführt. Alternativ dazu war der Versuch das vereinfachte Stundenverfahren aus der DIN 13790 [EN108] in eine ansprechende Form in das Excel-Programm zu integrieren. Aufgrund vieler Kopplungen in der Berechnung und der Auflösung der Leitwerte auf mehrere Knotenpunkte, konnte eine übersichtliche Form der Berechnung nicht realisiert werden. Somit wurde auf das bestehende Modell zurückgegriffen und dieses bis zur Berechnung des Primärenergiebedarfs ausgebaut. Ein wichtiger Bestandteil dabei war die Berechnung des zentralen Speichers, welche über Visual Basic abgewickelt wurde. Die folgenden Kapitel erläutern die Vorgehensweise der Berechnung von der Erfassung der Gebäudegeometrie bis hin zur Berechnung des endgültigen Energiebedarfsbedarfs des Gebäudes.

4.1. Geometrie und Bauteile

Erster Punkt der Berechnung ist die Ermittlung der vorhandenen Geometrie bzw. der bestehenden Aufbauten des Gebäudes. Die Flächen der Bauteile wurden aus den Abmessungen des vorhandenen Einreichplans abgeleitet.

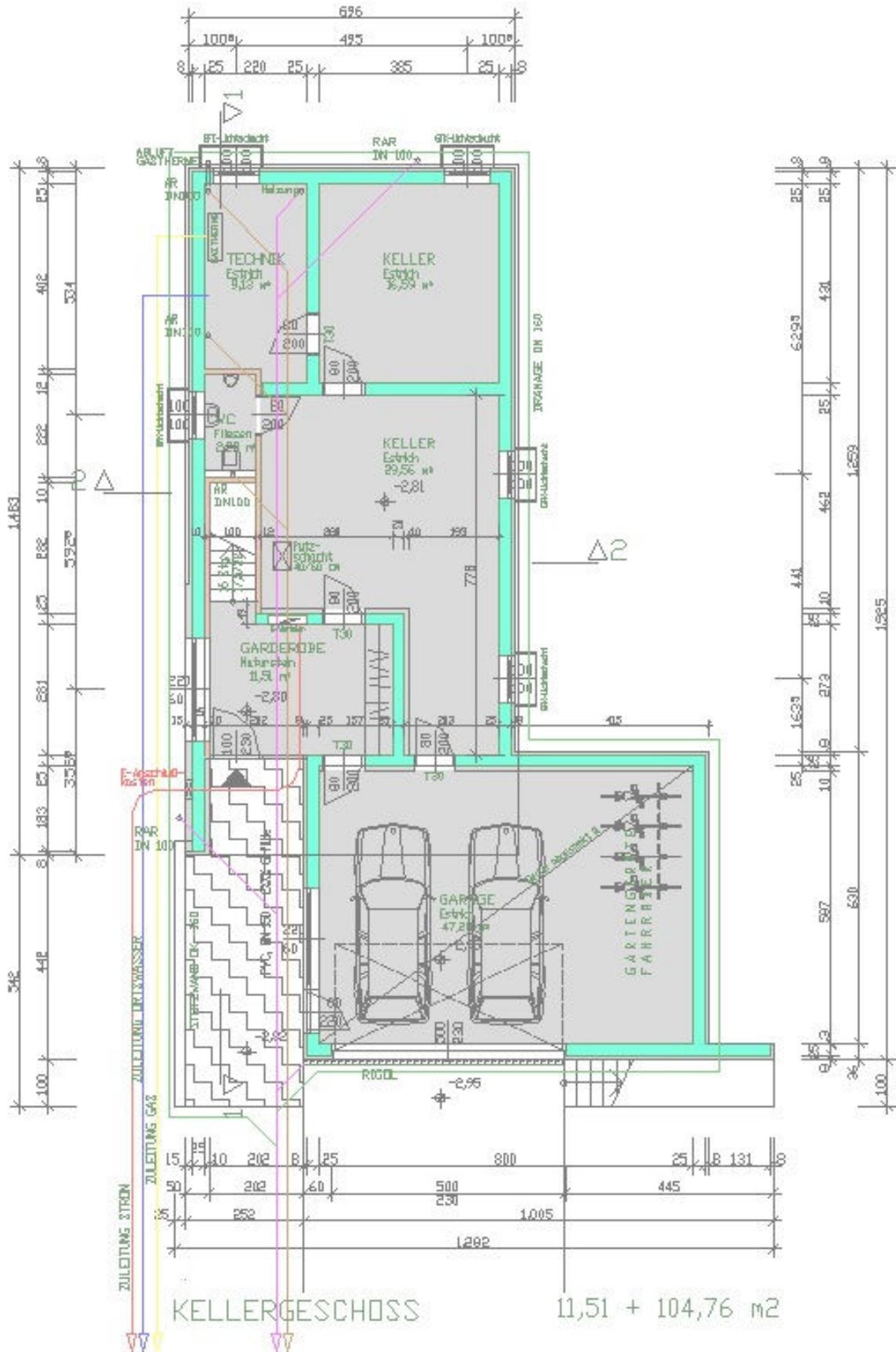


Abbildung 4 - Kellergeschoss EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)

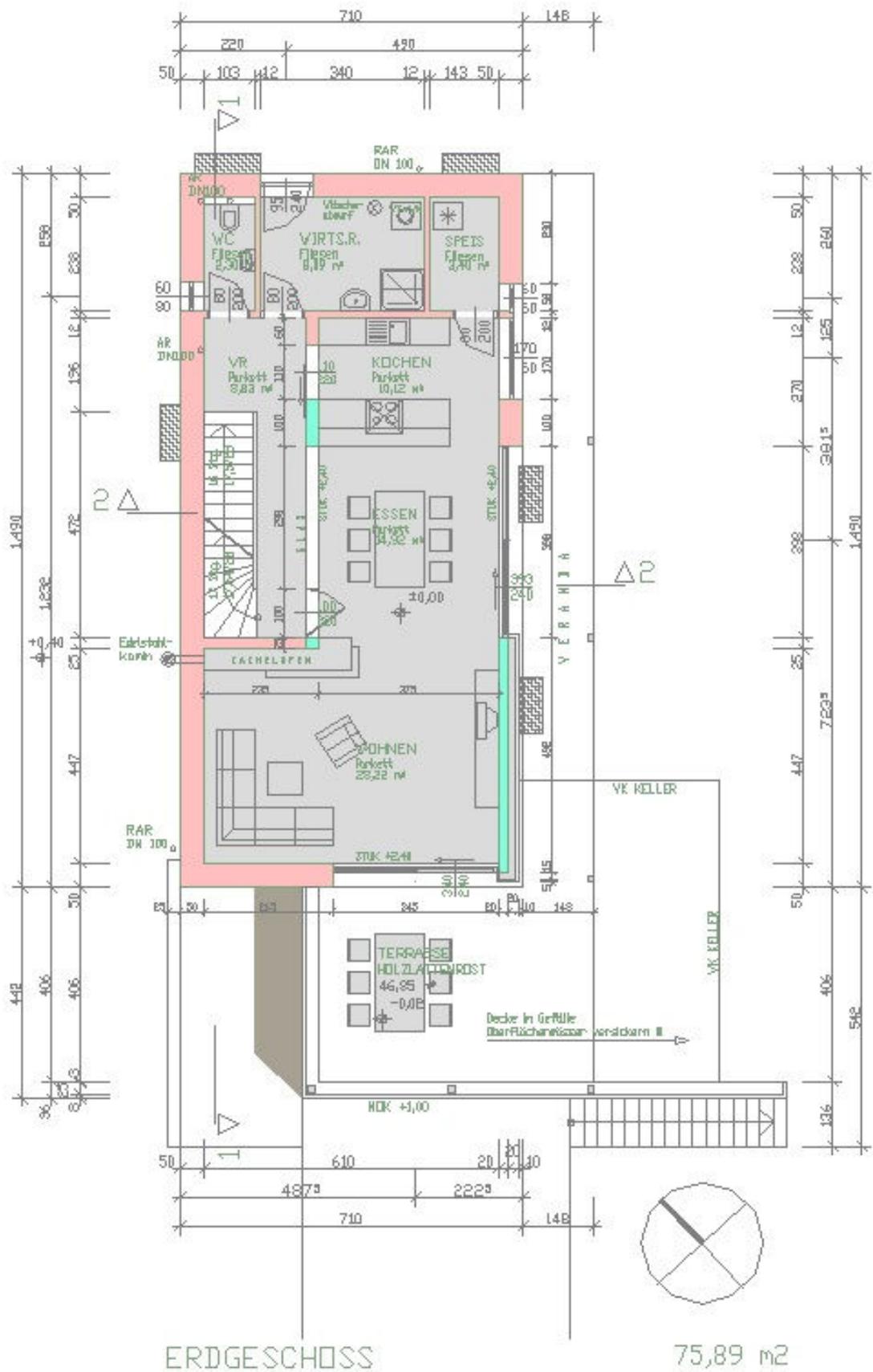


Abbildung 5 - Erdgeschoss EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)

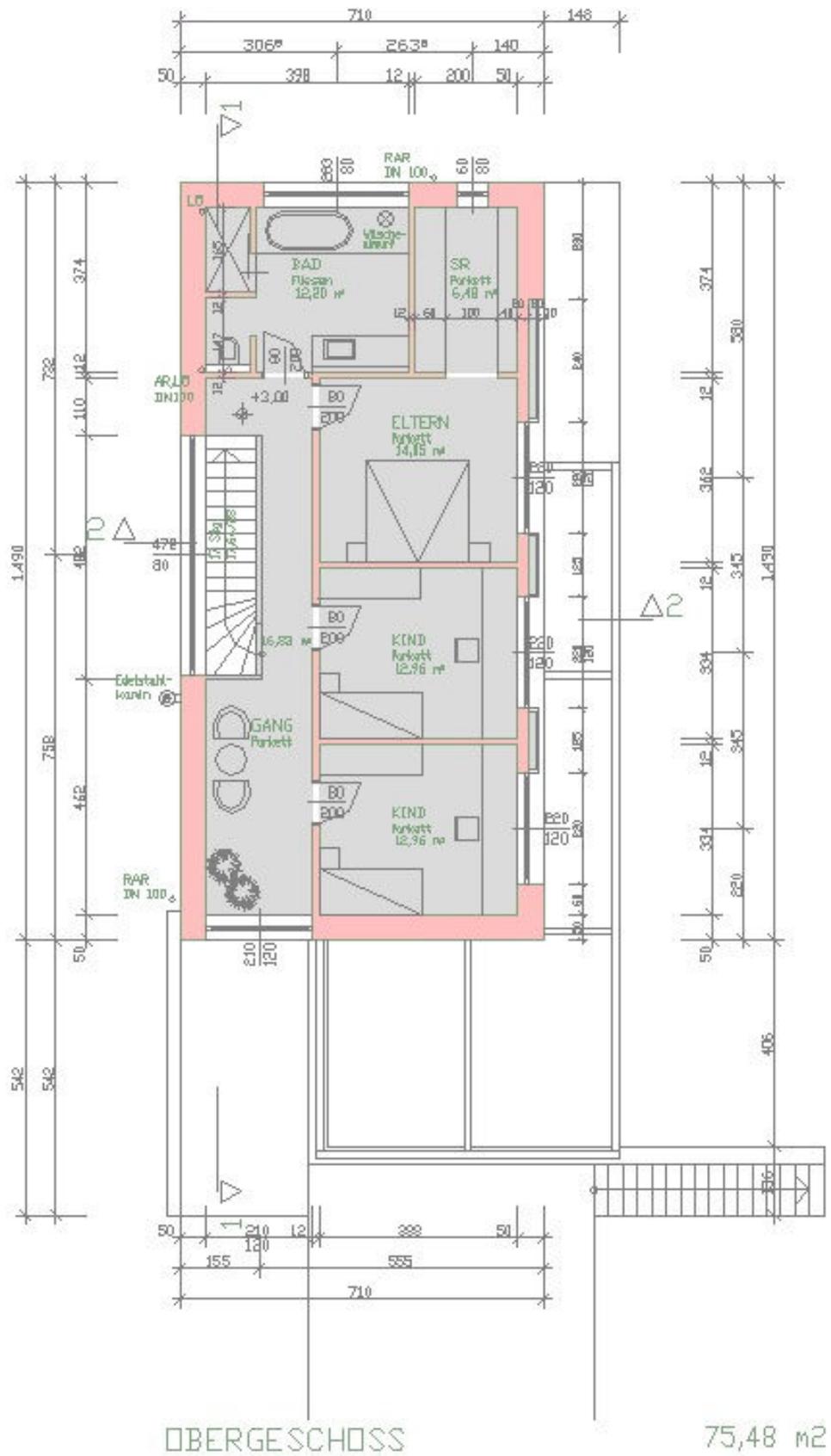
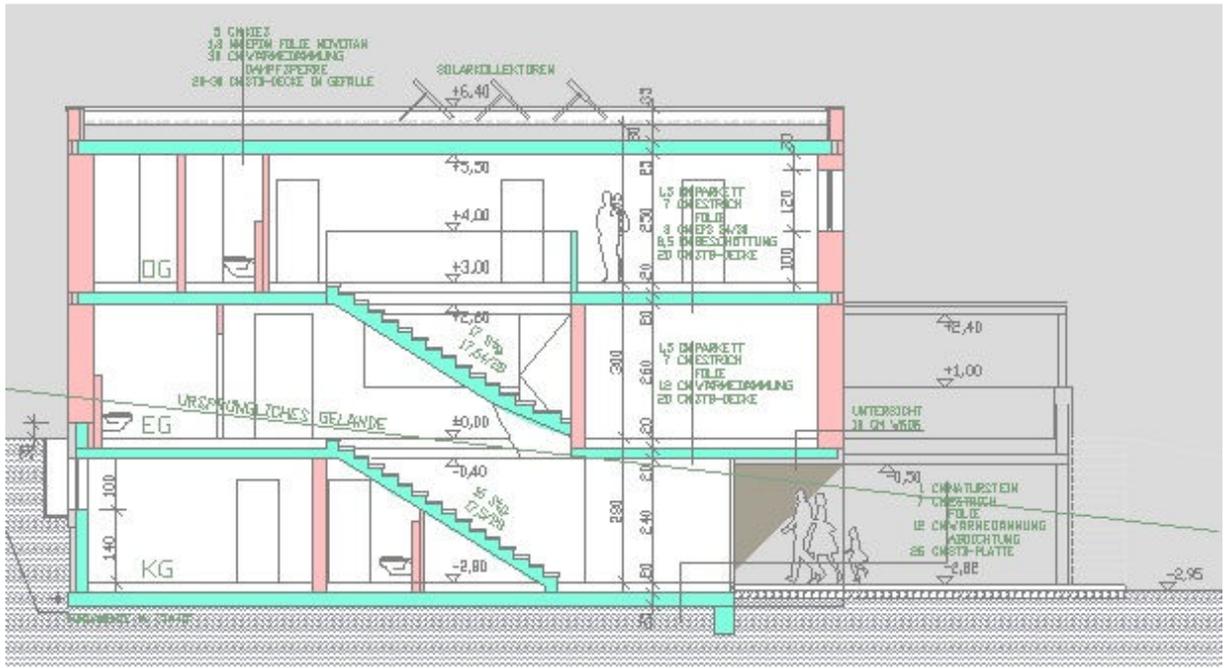
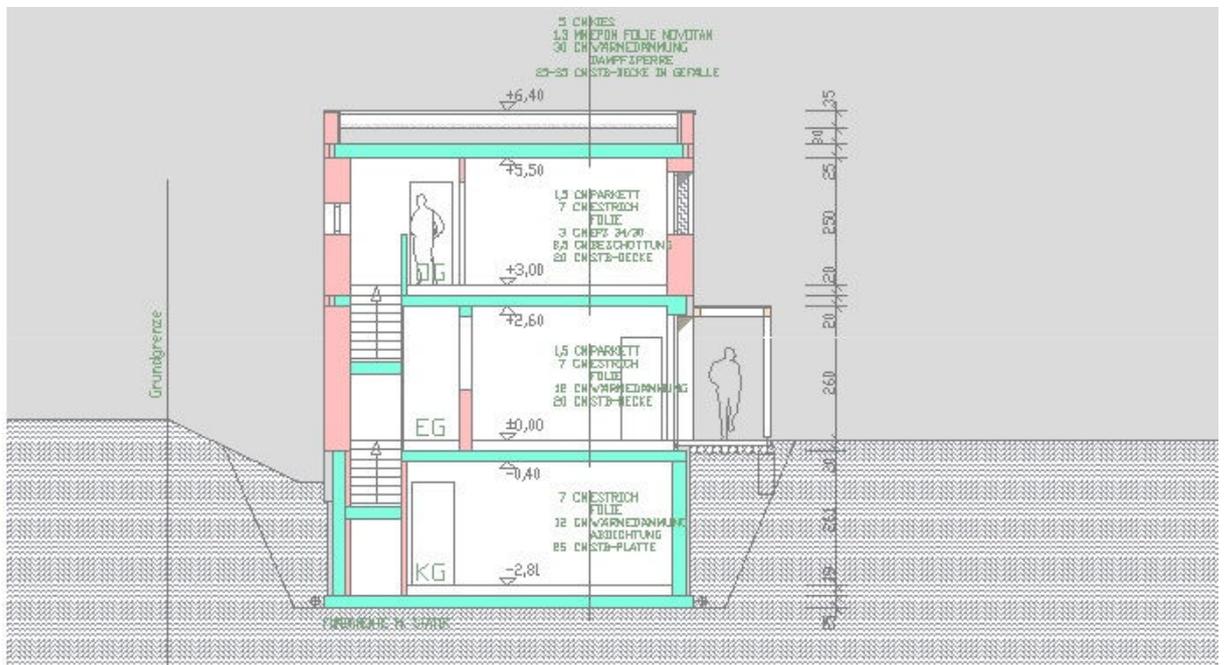


Abbildung 6 - Obergeschoss EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)



SCHNITT 1-1

Abbildung 7 - Schnitt 1 EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)



SCHNITT 2-2

Abbildung 8 - Schnitt 2 EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)

Die geometrischen Eingangsdaten bleiben bei den verschiedenen Berechnungsverfahren unverändert. Das Gebäude weist Außenabmessungen von $l / b / h = 14,9 / 7,1 / 9,3$ m auf

Die nachfolgende Ermittlung der wärmetechnischen Kennwerte erfolgte über Heranziehung der gängigsten Baustoffe mit deren physikalischen Eigenschaften in die Berechnung. Um hier allgemein anerkannte Eingangsdaten einzubinden, wurde die Baustoffliste der Internetseite www.baubook.at herangezogen. Ergebnisse dieses ersten Berechnungsschrittes sind der U-Wert aller außenliegenden Bauteile und die speicherwirksame Masse der Bauteile, welche Wärme im Gebäude aufnehmen bzw. abgeben können.

Tabelle 1 - Bauteile mit Flächen und wärmetechnischen Kennwerten (eigene Berechnung, basierend auf Einreichplan EFH Leeb 2005)

<u>Außenbauteile</u>	A [m ²]	U [W/m ² K]	Cm [kJ/m ² K]
Oberste Geschossdecke:	105,8	0,128	330,21
Außenwand:	237,3	0,150	39,65
Fenster (Bruttofläche):	42,7	1,177	-
Kellerwand:	112,7	0,439	-
Kellerboden:	87,6	0,300	-
Decke zu Außenluft	5,07	0,172	
<u>Innenbauteile</u>			
Innenwand (12cm LAC4):	105,5	-	54,31
Innenwand (25cm LAC4):	33,9	-	71,43
Decke Kellergeschoss	84,4	-	150,68
Decke Erdgeschoss:	84,8	-	465,95

Ein weiterer geometrischer Kennwert ist die Kompaktheit des Gebäudes. Diese definiert sich aus dem Verhältnis von der Gebäudehüllfläche zum Bruttovolumen und liegt beim vorliegenden Gebäude bei $A/V = 0,59$. Bei einer konditionierten Brutto-Geschossfläche (BGF) von $317,4 \text{ m}^2$ wurde die Bezugsfläche (BF) auf den 0,8-fachen Wert mit $253,9 \text{ m}^2$ festgelegt. Diese Einschätzung ist zwar laut Ö-NORM B8110-6 [ONB10] zu großzügig, dient aber der Vergleichbarkeit mit dem später erstellten Energieausweis nach OIB RL6.

4.2. Heizwärmebedarf

4.2.1. Transmission

Der Transmissionsleitwert eines Gebäudes setzt sich wie folgt zusammen:

$$L_T = L_e + L_{iu} + L_g + L_\psi + L_\chi$$

mit

L_e der thermische Leitwert aller Bauteile, die den konditionierten Innenraum und die Außenluft thermisch verbinden, in W/K

L_{iu} der thermische Leitwert für Bauteile, welche den konditionierten Innenraum über unkonditionierte Räume mit der Außenluft verbinden, in W/K

L_g der thermische Leitwert für Bauteile, welche die konditionierten Bereiche über den Boden mit der Außenluft verbinden, in W/K

L_ψ, L_χ Leitwertzuschläge für linien- und punktförmige Wärmebrücken, in W/K

Durch Multiplikation der zuvor ermittelten U-Werten mit den zugehörigen Außenflächen und anschließender zonenweiser Aufsummierung ergibt sich der thermische Leitwert (L_e).

$$L_e = \sum_k A_k U_k$$

In der Berechnung ist $L_e = 100,23 \text{ W/K}$

Da keine unkonditionierten Räume im Gebäude vorhanden sind ist $L_{iu} = 0$.

Durch Multiplikation des Leitwertes mit der vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenluft ergeben sich die vorhandenen Transmissionswärmeverluste.

Um eine gute Näherung über den Transmissionswärmetransfer an das Erdreich zu erhalten, wurde ein eigenes Tabellenblatt erstellt, welches die stationären Verluste und

die durch die Trägheit des Bodens phasenverschobenen Verluste nach ÖN EN13370 [ENI07] bestimmt. In diesem Tabellenblatt definieren sich die Umgebungsbedingungen des Kellergeschosses sowie die Art der Konditionierung. Durch diese Vorgehensweise wird der thermische Leitwert L_g in stationäre und harmonische Anteile zerlegt. Die Ausgabedaten dieses Blattes sind die monatlichen Verluste welche von der konditionierten oberirdischen Zone an das Kellergeschoss erfolgen. Die folgende Abbildung zeigt die Gegenüberstellung der Ergebnisse nach ÖNORM B8110-6 [ONB10] und nach EN13370 [ENI07]. Hier ist zu sehen, dass bei der Berechnung nach [ENI07] die saisonale Phasenverschiebung deutlich ausgeprägt ist und die wärmetechnischen Eigenschaften des Bodens eine dämpfende Wirkung auf die Spitzen der Verluste ausüben.

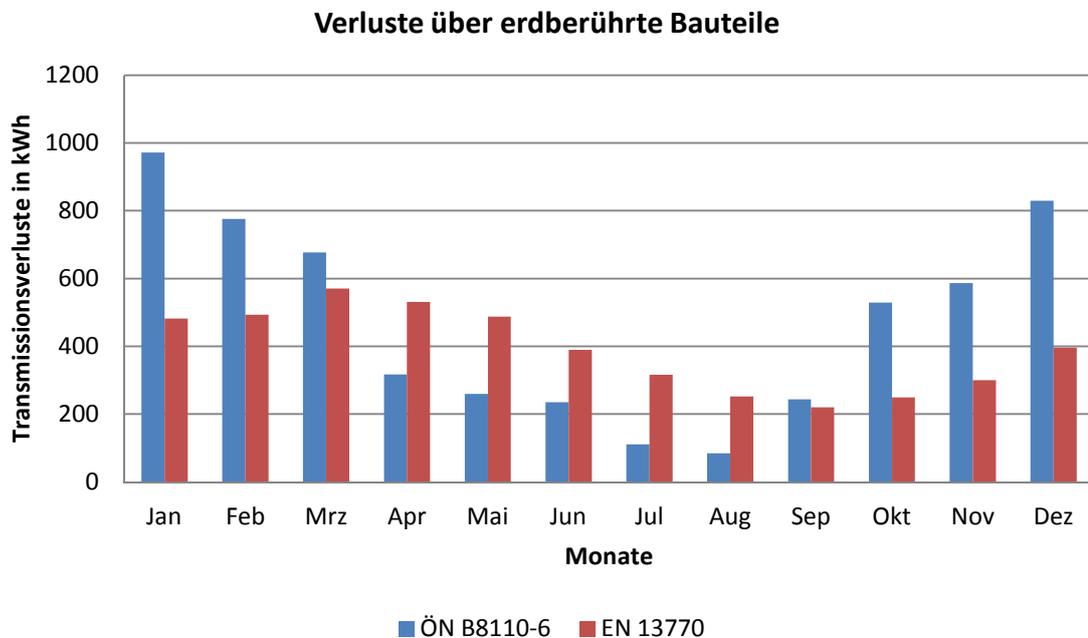


Abbildung 9 - Transmissionsverluste über das Kellergeschoss (eigene Darstellung, basierend auf [ENI07] und [ONB10])

Die im Kellergeschoss angeschlossene, unbeheizte Garage wurde in der Berechnung nicht als vorhandener Pufferraum angesetzt. Der Wandbereich an welchem die Garage anschließt, wurde als Außenwand definiert.

Um vorhandene Wärmebrücken am Gebäude zu berücksichtigen wurde für L_{ψ} und L_x ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von $0,1L_e = 10,02 \text{ W/K}$ angesetzt.

Somit ergibt sich für den Gesamttransmissionsleitwert (mit Ausnahme des gesondert berechneten Kellergeschosses) ein Wert von $L_T = 110,26 \text{ W/K}$.

Durch Multiplikation dieses Leitwertes mit dem Temperaturunterschied zwischen Innenraum und Außenluft ergeben sich die auftretenden Transmissionsverluste. Im Gegensatz zum Monatsbilanzverfahren, bei dem eine gewünschte Innentemperatur vorgegeben wird, wird diese beim Stundenverfahren in jedem Zeitschritt berechnet. Durch die erhöhte Innentemperatur im Sommer wächst auch die Temperaturdifferenz in den Nächten und damit einhergehend die Transmissionsverluste in den Sommermonaten.

4.2.2. Lüftung

Der lüftungsbezogene Leitwert setzt sich aus dem Anteil der Infiltrationslüftung und der mechanischen Lüftungsanlage zusammen. Ausgangsbasis für die Verluste ist der vorhandene Luftvolumenstrom durch das Gebäude. Die durchgeführte Blower-Door Messung lieferte einen Wert für die Dichtheit des Gebäudes von $n_{50} = 1,42$ 1/h. Die Luftwechselrate durch die mechanische Lüftungsanlage ergibt sich aus der Leistung des Lüftungsgerätes und beträgt bei der eingestellten Stufe $n_{\text{mech}} = 0,49$ 1/h. Der Abluft wird durch die integrierte Wärmerückgewinnungseinheit Wärme entzogen und der Frischluft zugeführt. Der Wärmerückgewinnungsgrad dieser Einheit liegt bei 65 %. Die Kombination des Lüftungsleitwertes mit dem vorhandenen Temperaturunterschied zwischen Innenraum und Außenluft liefert die entstehenden Wärmeverluste durch Lüftung.

Um sommerliche Überhitzung im Innenraum zu vermeiden wird der Luftvolumenstrom in den Sommernächten deutlich erhöht. Dies geschieht einerseits durch das Öffnen von Fenstern oder durch Erhöhung der Luftzufuhr durch das Raumlüftungsgerät. Eine Wärmerückgewinnung im Fall "Nachtlüften" ist nicht vorhanden.

4.2.3. Innere Lasten

Die inneren Lasten teilen sich bei der Berechnung in folgende drei Gruppen.

Elektrische Geräte

Diese Gruppe umfasst den Eintrag von Wärme durch den Betrieb elektrischer Geräte in der konditionierten Zone. Die Dauer der jährlichen Nutzung für Einfamilienhäuser wurde nach [ONB05] bestimmt. Zur Ermittlung des Tagesverlaufs wurde der mittlere tägliche Stromverbrauch in Kombination mit der Anwesenheit der Nutzer und deren Tätigkeit angepasst. Um dieses Verhalten möglichst realitätsnah abzubilden, bezieht sich das Rechenverfahren auf folgendes, stundenbezogenes Nutzerprofil.

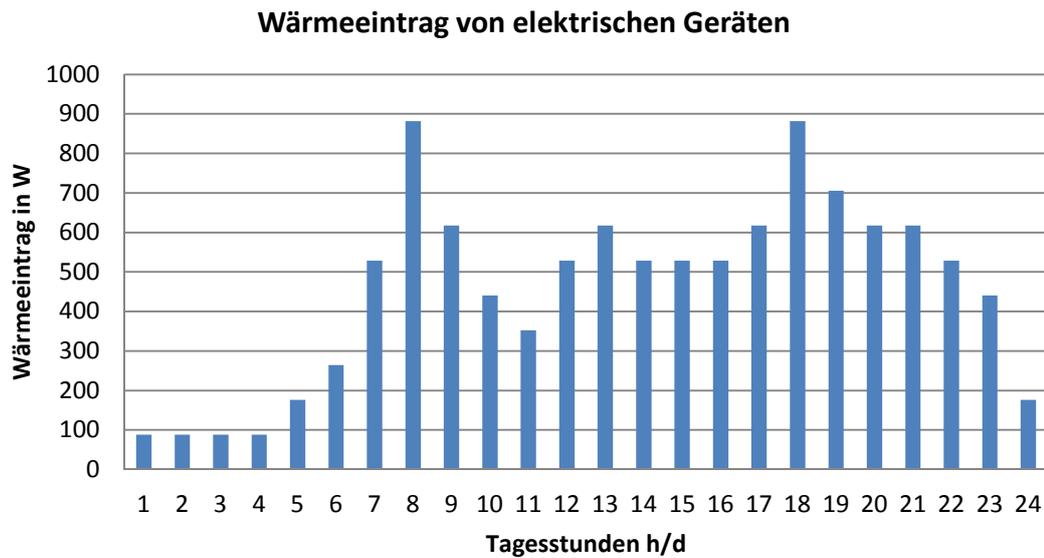


Abbildung 10 - Schema des täglichen Wärmeeintrags durch elektrische Geräte (Quelle: eigene Darstellung und Berechnung nach Anwesenheit und Tätigkeit der Nutzer)

Personen

Die zweite Gruppe beschreibt den Eintrag von Wärme durch die Anwesenheit von Personen. Um diese Einträge einzubinden wurde für die Berechnung folgendes Nutzerprofil erstellt, wonach der Wärmeeintrag dem Verhaltensmuster der Bewohner angepasst ist.

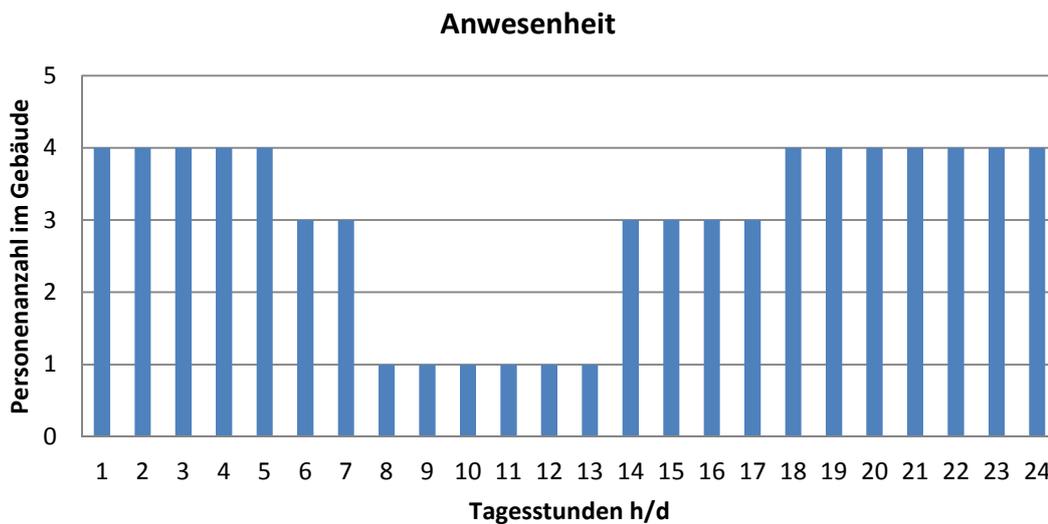


Abbildung 11 - Schema des täglichen Wärmeeintrags durch Personen (Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Daten durch Befragung der Gebäudenutzer)

Der Wärmeeintrag pro Person wurde mit 80 W angesetzt.

Rückgewonnene Verluste

Die dritte Gruppe schließt die rückgewonnenen, thermischen Verluste von Raumheizung und Warmwasser ein, da sie nicht direkt als eine Verringerung der Anlagenverluste berücksichtigt werden [ENI08]. Dabei richtet sich die Menge der rückgewonnenen Wärme vor allem nach dem Aufstellungsort der Raumheizungsanlage. Ist diese im konditionierten Bereich installiert, können die Speicherverluste und Leitungsverluste in die Bilanz des Wärmebedarfs für Raumheizung mit einbezogen werden. Diese Wärmemengen werden mithilfe der dynamischen Berechnung in Visual Basic ermittelt.

Als zusätzliche Option kann in der Berechnung eine Leerstandszeit definiert werden in welcher die inneren Lasten zufolge Personen gleich null sind und der Wärmeeintrag der elektrischen Geräte durch deren Verbrauch im Standby-Modus definiert ist.

4.2.4. Solare Gewinne

Abhängig von Standort, Seehöhe, Ausrichtung und Verschattung des Gebäudes kann die solare Einstrahlung auf das Gebäude bestimmt werden. Zur Berechnung der solaren Einträge wurden zuerst die Eigenschaften der Solarapertur ermittelt. Dabei werden die Eigenschaften wie solarer Durchlassgrad, Verschattung, Ausrichtung und die vorhandene Glasfläche der transparenten Bauteile definiert. Passend zum Standort wurden anschließend die Einstrahlungswerte auf das Gebäude ermittelt. Im Erdgeschoss verringert ein Vordach aus Milchglas die Einstrahlung um ein Überwärmen des Gebäudes im Sommer zu vermeiden. Die Berechnung der Verschattungswirkung erfolgte nach EN13790 Anhang G. Die eingetragene Wärmeenergie wird in der Berechnung positiv in die Bilanz einbezogen. Folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der solaren Wärmeeinträge.

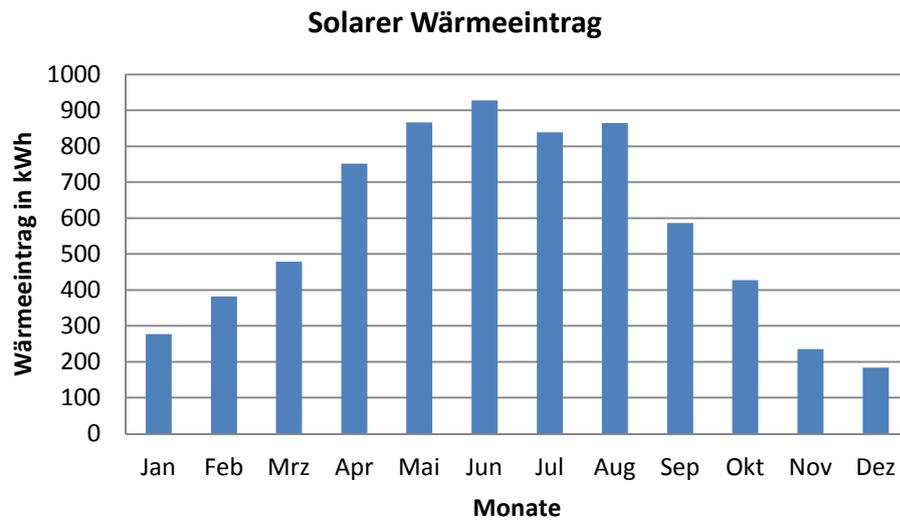


Abbildung 12 - jährliche solare Wärmegewinne (Quelle: eigene Berechnung, basierend auf Stundenwerten)

Zur Veranschaulichung zeigt folgende Abbildung die stündlichen, solaren Einträge im Monat Juni mit deutlich ausgeprägten Tagesspitzen.

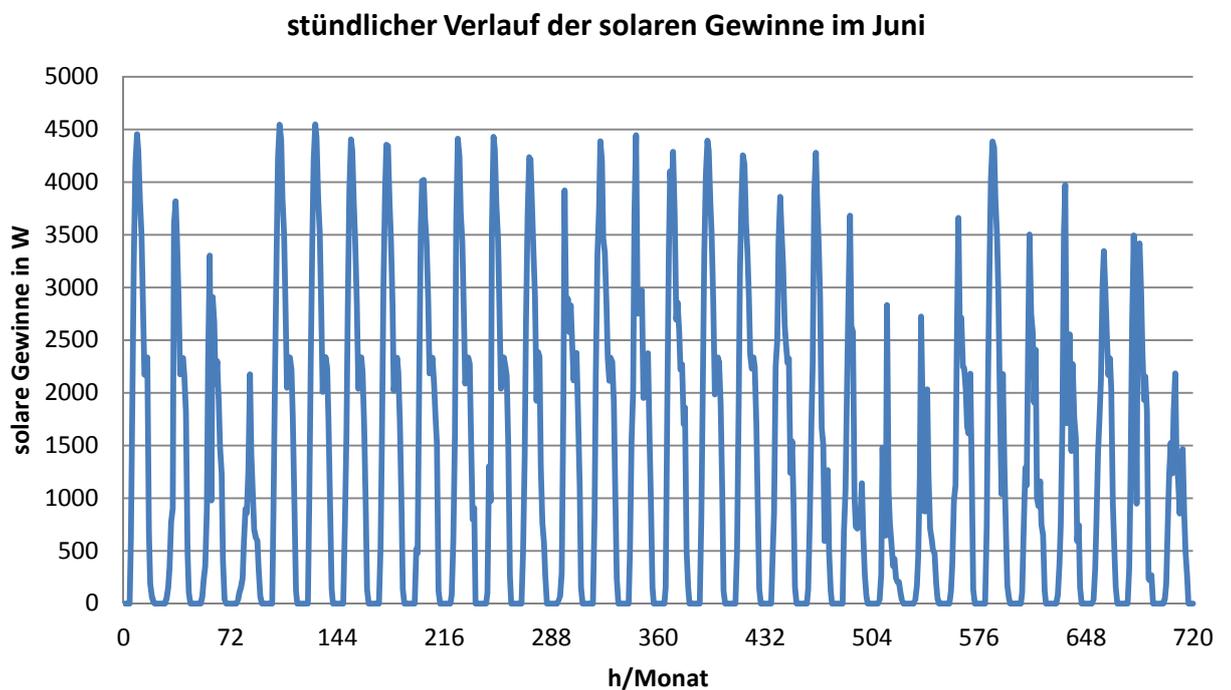


Abbildung 13 - stündlicher Verlauf der solaren Gewinne im Monat Juni (Quelle: eigene Darstellung)

4.2.5. Berechnung der aktiven Speichermasse

Nach dem österreichischen Normenwerk ist es ausreichend, die vorhandene Speichermasse mithilfe eines Richtwertes bezüglich der Gebäudemasse und dem Bruttovolumen zu berechnen. Da im entwickelten Stundenverfahren die vorhandene Speichermasse eine Schlüsselrolle zur Berechnung der aktuellen Innentemperatur spielt, wurde eine genaue Berechnung durchgeführt. Die Gesamtspeichermasse ergibt sich aus der Aufsummierung der Anteile der einzelnen Bauteile. Die Berechnung der Bauteile bezieht sich auf die Speicherkapazität c in $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ und die periodische Eindringtiefe δ in m . Die genaue Erklärung der Berechnungsschritte würde den Rahmen dieses Kapitels sprengen. Daher wird auf die in [RIC10] beigefügte CD verwiesen, welche theoretische Grundlagen über die wirksame Wärmekapazität sowie ein Berechnungstool in Microsoft Excel enthält.

Das Ergebnis der genauen Berechnung für das gesamte Gebäude liegt bei 29.297 Wh/K . Somit fällt das Gebäude in die Klasse "schwer" was darauf zurückzuführen ist, dass die Wände (auch Innenwände) aus Porenbeton bestehen welcher eine Dichte von 945 kg/m^3 aufweist. Das technische Datenblatt des Wandaufbaus ist im Anhang zu finden. Die Berechnung nach ÖNORM B8110-6 [ONB10] liefert einen Wert von 29.515 Wh/K .

4.3. Heizenergiebedarf

Die Bilanzierung der in den vorigen Kapiteln beschriebenen Gewinne und Verluste von Wärme ergibt den Heizwärmebedarf des Gebäudes. Da die Heizungsanlage, zusätzlich zur Heizwärme, auch Warmwasser erzeugt und beides aus einem gemeinsamen Speicher entnommen wird, interagieren diese Abläufe miteinander.

4.3.1. Warmwasserwärmebedarf

Die benötigte Wärme zur Warmwassererzeugung hängt zum großen Teil vom Verhalten der Bewohner des Gebäudes ab. In der Berechnung wurde ein Tagesverbrauch von 150 l Warmwasser mit 60° C festgelegt. Da Entnahme von Warmwasser in den Morgen- und Abendstunden des Tagesverlaufs am größten ist, jedoch die Solaranlage nur tagsüber Wärme in den Speicher einbringt, sinkt der Deckungsgrad der Anlage. In der Berechnung wurde folgendes, tägliches Entnahmeprofil zugrunde gelegt. Multipliziert man den Tagesbedarf mit dem stündlichen Wert des Entnahmeprofiles so erhält man den stündlichen Verbrauch in Liter.

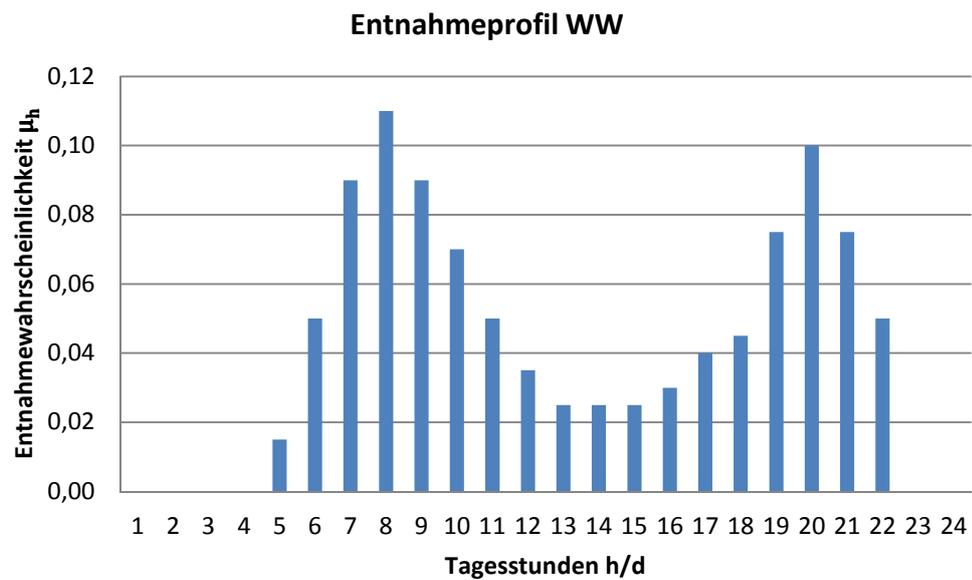


Abbildung 14 - tägliche Entnahme von Warmwasser (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [HEN10])

Da das entwickelte Verfahren auf Stundenwerten basiert, wird die durchschnittliche Dauer der Ereignisse zur Wasserentnahme mit einbezogen. Diese Eingabe erzielt eine realitätsnahe Ermittlung der Verluste. Die Berechnung der Warmwasserentnahme erfolgt nach folgender Formel.

$$Q_{WW,h} = WW_d \cdot \mu_h \cdot d_{ent} \cdot c_{p,w} \cdot \frac{\Delta t}{3600 \cdot 1000}$$

dabei ist

$Q_{WW,h}$ der stündliche Energiebedarf für Warmwasser, in kW

WW_d der tägliche Warmwasserbedarf, in l

μ_h der stündliche Anteil der Warmwasserentnahme

d_{ent} die stündliche Zeitanteil des Entnahmeereignisses

$c_{p,w}$ die spezifische Wärmekapazität von Wasser, in J/(K.kg)

Δt der Temperaturhub von Frischwasser zu Warmwasser, in K

In den folgenden Kapiteln wird der Energiebedarf zur Deckung des Heizwärmebedarfs und des Warmwasserwärmebedarfs berechnet. Dabei werden die Komponenten der Heiz,- und Warmwasseraufbereitungsanlage untersucht. Im berechneten Gebäude sind diese Komponenten:

- Wärmepumpe
- thermische Solaranlage
- Hygieneschichtspeicher mit integrierter Warmwasserbereitung
- Raumlüftungsanlage
- Leitungen des Warmwasserverteilsystems
- Leitungen des Heizungssystems

Folgende Grafik zeigt das Schema der Haustechnikanlage

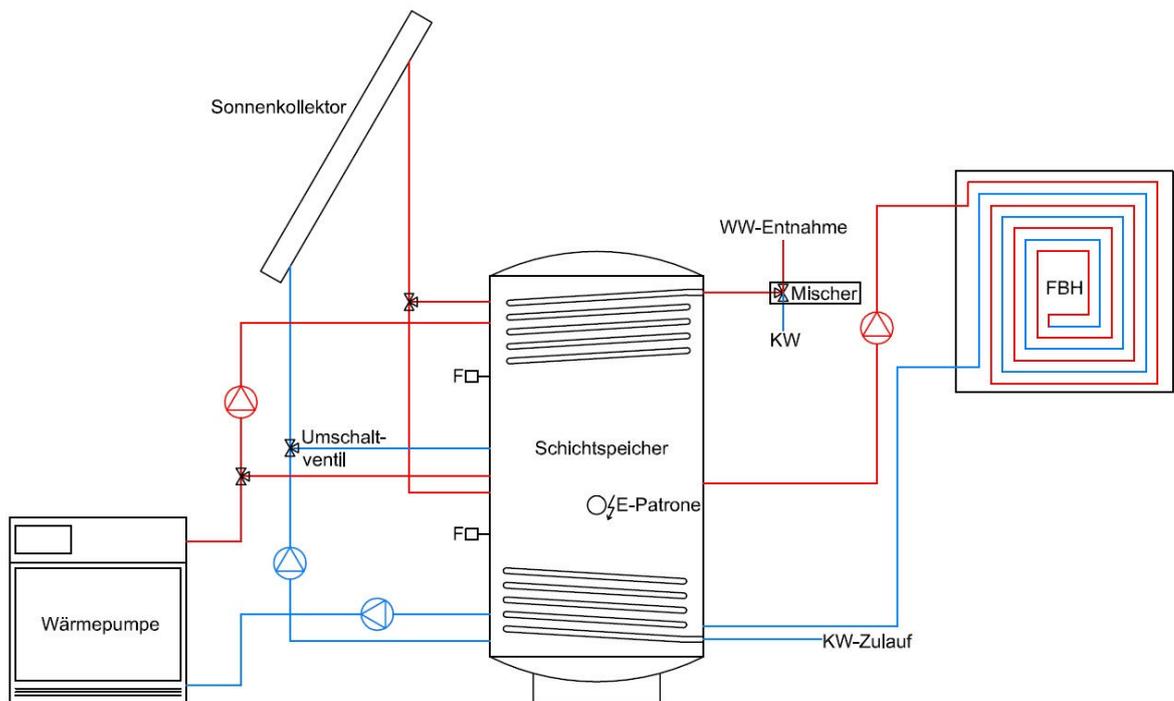


Abbildung 15 - Anlagenschema mit Schichtspeicher, Sonnenkollektor, Wärmepumpe und Fußbodenheizung (Quelle: eigene Darstellung)

Im Anlagenschema ist erkennbar, dass die Geräte zur Wärmeeintragung in den Speicher bedarfsgesteuert agieren und Wärme in unterschiedliche Schichten des Speichers einspeisen können. So kann der Speicher effizienter bewirtschaftet werden. Sollten die solaren Erträge im Sommer den Speicher in Höhe der Warmwasserentnahme auf über 70°C erhitzen, so wird dieses, nach der Ausgabe aus dem Speicher, noch mit kaltem Wasser gemischt und anschließend zum Entnahmeort geführt.

4.3.2. Wärmepumpe

Die installierte Wärmepumpe im Gebäude ist eine Luft/Wasser-Wärmepumpe. Dieser Typ weist im Vergleich mit anderen Wärmepumpen, welche Wasser oder Sole als Quellmedium benutzen, den geringsten Wirkungsgrad auf. Andererseits bietet diese Variante die einfachste Methode eine Wärmepumpe zu betreiben, da keine Bohrungen oder Flächenkollektoren in das Erdreich eingebracht werden müssen. Die genaue Bezeichnung des Wärmepumpensystems lautet Buderus WPL 80AR mit einer Leistungszahl im Normbetriebspunkt von 3,2 und einer Nennwärmeleistung von 8,8 kW. Die Quelltemperatur wird bei Luftwärmepumpen gleich der Luftumgebungstemperatur gesetzt. Die Luftwärmepumpe stellt das einzig aktive Heizungselement des Hauses dar. Somit wird auch der Warmwasserwärmebedarf mit dieser Anlage gedeckt. Aufgrund der hohen Zieltemperatur sinkt die Jahresarbeitszahl deutlich ab. Das Ergebnis der Berechnung der Wärmepumpe ist die Menge an elektrischer Energie, die diese benötigt um die erforderliche Wärme in den Speicher einzubringen.

Der stündliche Berechnungsschritt für die Wärmepumpe setzt sich aus der Erzeugung von Wärme für die Raumheizung und Wärme für die Erzeugung von Warmwasser zusammen und lautet:

$$P_{el} = \frac{Q_{RH}}{COP_{RH}} + \frac{Q_{WW}}{COP_{WW}}$$

mit

P_{el} dem aktuellen Stromverbrauch der Wärmepumpe, in kW

Q_{RH} dem aktuellen Wärmebedarf für Raumheizung, in kW

Q_{WW} dem aktuellen Wärmebedarf für Warmwasser, in kW

COP_{RH} dem aktuellen Wirkungsgrad mit einer Quelltemperatur gleich der Außentemperatur und Zieltemperatur gleich der Heizungsvorlauftemperatur

COP_{WW} dem aktuellen Wirkungsgrad mit einer Quelltemperatur gleich der Außentemperatur und einer Zieltemperatur gleich der benötigten Warmwassertemperatur von 60°C.

4.3.3. Thermische Solaranlage

Die thermische Solaranlage des Typs "Buderus Logasol" mit einer Kollektorfläche von 13,2 m² ist auf dem Dach montiert und speist die gewonnene Wärmeenergie in Form von Warmwasser in den Schichtspeicher ein. Die Kollektoren sind gegen Süden ausgerichtet und weisen eine Neigung zum Horizont von 60° auf. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal im Betrieb der Solaranlage ist der vorhandene Durchfluss. Dieser bestimmt die Zeit wie lange sich das zu erwärmende Wasser im Kollektor verbringt und steuert somit die ausgegebene Temperatur der Anlage. Im berechneten Kollektor herrscht eine niedrige Durchflussrate (low-flow). Diese Variante von Solaranlagen zeichnet sich durch einen großen Temperaturhub aus [STR10]. Die in den Speicher eingebrachte Leistung wird aus den Eingangsdaten wie Einstrahlungsintensität und Durchfluss durch den Kollektor in kleinen Zeitschritten mittels Visual Basic ermittelt.

4.3.4. Hygieneschichtspeicher

Die Funktionsweise eines Schichtspeichers beruht auf der physikalischen Gegebenheit, dass warmes Wasser eine geringere Dichte aufweist als kaltes Wasser. Bei von unten nach oben steigenden Temperaturen in einem Speicher stellt sich eine stabile Schichtung ein. Um diesen Zustand zu erhalten wird Warmwasser aus dem oberen Bereich des Speichers entnommen, während gleichzeitig frisches Wasser mit niedriger Temperatur unten einfließt. Die Wärmeerzeuger entnehmen aus dem unteren Bereich kaltes Wasser und führen dieses nach der Erwärmung in höher gelegene Schichten zurück. Oberhalb dieses Rücklaufes erwärmt sich das Wasser aufgrund der höheren Einströmtemperatur durch Naturkonvektion [STR10].

Im Keller des Gebäudes befindet ein solcher Speicher aus welchem sowohl das Warmwasser mit 60°C Vorlauftemperatur als auch der Vorlauf für die Raumheizung mit rund 35°C entnommen werden kann. Zwei großflächige Glatrohrwärmetauscher ermöglichen die optimale Schichtung im Speicher. Der verwendete Typ (Gasokol GK-HGRR 800) fasst 800 Liter mit einem Warmwasserregister von 43 Liter. Der Speicher ist mit 10 cm PU-Weichschaum isoliert. Die Berechnung des Speichers wird mit Visual Basic durchgeführt und umfasst den Austausch von Wärme zwischen den einzelnen Schichten im Speicher und die Verluste an die Umgebung. Die entnommene Wärmemenge aus dem Speicher bestimmt den Bedarf an nachgeführter Wärme. Somit regelt sich das System dynamisch.

4.3.5. Raumlüftungsanlage

Mithilfe der Raumlüftungsanlage wird eine permanente Versorgung mit Frischluft sichergestellt, wobei die Lüftungsverluste durch die Wärmerückgewinnungseinheit maßgeblich reduziert werden. Die installierte Anlage verfügt über das Lüftungs-Kombigerät und die benötigten Luftkanäle zu den einzelnen Räumen. Das eingebaute Gerät vom Typ "Pluggit Avent P300" saugt die Frischluft über ein im Erdreich verlegtes Rohr (DN200) von 35 m Länge an, wodurch die Frischluft durch den Boden vorgewärmt bzw. im Sommer vorgekühlt wird. Der Stromverbrauch bei der verwendeten Stufe 2 liegt laut Messung bei 41 W.

4.3.6. Leitungen

Warmwasser- und Raumheizungsleitungen geben durch ihre erhöhte Temperatur Wärme an die Umgebung ab. Ist diese Umgebung der konditionierte Innenraum, so ist diese abgegebene Energie teilweise bei der Deckung des Heizwärmebedarfs beteiligt. Die Wärme, welche in unkonditionierte Bereiche strömt wird zu den Anlageverlusten hinzugezählt. Um diese Verluste zu verringern werden Leitungen in unkonditionierten Bereichen gedämmt. Im untersuchten Gebäude ist ein 4-leiter Verteilsystem installiert. Dies ermöglicht, das Raumheizung und Warmwasser getrennt und mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen eingespeist werden. Durch die großflächige Wärmeabgabe benötigt die Raumheizung eine geringere Vorlauftemperatur als bei klassisch verwendeten Radiatoren. Aufgrund des geringen Temperaturunterschiedes zur Umgebung sind die Verluste deutlich geringer als bei der Wärmeabgabe über Radiatoren. Wie bereits erwähnt, wird in der Berechnung unterschieden in welchem Bereich des Gebäudes die Leitungen verlaufen. Während die Wärmeabgabe in unkonditionierte Bereiche verloren geht, können die Verluste in die konditionierte Zone bei der Wärmebilanz für Raumheizung mit einbezogen werden.

4.3.7. Berechnung

Um aussagekräftige Resultate über den Heizenergiebedarf zu erhalten, muss die Verhaltensweise der technischen Gebäudeausrüstung möglichst realitätsnahe abgebildet werden. Anfänglich wurden die Komponenten der Anlage einzeln berechnet und deren Verluste addiert. In der Weiterentwicklung des Berechnungsablaufes wurde die gesamte Heiz- und Warmwasseraufbereitungsanlage mit Visual Basic simuliert.

Ausgangspunkt der Berechnung ist der Schichtspeicher, welcher die Wärme von Solaranlage und Wärmepumpe bezieht. Im Berechnungsablauf geben die einzelnen

Schichten des Speichers Wärme an die benachbarten Schichten weiter. Die Wärmeentnahme aus dem Speicher erfolgt, wenn Warmwasser oder Energie für die Raumheizung benötigt wird. Die entnommene Wärmemenge aus dem Speicher setzt sich zusammen aus der Wärme zur Erhaltung der Raum- und Warmwassertemperatur und den Verlusten, welche bei der Verteilung und Wärmeabgabe entstehen. Durch die Berechnung der Heizungsanlage in kleinen Zeitschritten wird fortlaufend die benötigte Wärmezufuhr in den Speichers berechnet.

Zur Deckung dieses Wärmebedarfs stehen die Solaranlage und die Wärmepumpe zur Verfügung. Die Solaranlage liefert, abhängig von ihren technischen Kenngrößen und der solaren Einstrahlung, Wärme in den Speicher. Die Luft/Wasserwärmepumpe bewerkstelligt den Anteil des Wärmebedarfs, welcher nicht durch die Solaranlage gedeckt werden kann. Die Berechnung des Gebäudes wurde mit drei unterschiedlichen Verfahren durchgeführt, wobei das vereinfachte Stundenverfahren als Kontrolle der weiterentwickelten Version in Visual Basic diente. Dadurch konnten Fehler in der Programmierung schneller erkannt und beseitigt werden. Durch die interagierenden Komponenten verhält sich das Verfahren dynamisch und reagiert auf entsprechende Einstellungen in der Eingabe.

5 Ergebnisse

Mit der Darstellung der Ergebnisse des Heizwärmebedarfs nach den unterschiedlichen Berechnungsverfahren soll die steigende Genauigkeit verdeutlicht werden, welche in der Verfeinerung des Berechnungsprogrammes erzielt wurde. Im Rahmen der Diplomarbeit dienten die Ergebnisse der jeweils anderen Verfahren zur Kontrolle und zeigten Fehler auf. Die Haupteingangsdaten, zum Vergleich der Verfahren, beruhen auf einem angepassten Klima mit Messwerten des Zentralamtes für Meteorologie und Geodynamik [ZAM11] mit folgenden Monatsmittelwerten.

Tabelle 2 - Monatsmittelwerte der Außentemperatur (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11])

	Ried i. Innkreis
	ZAMG 2009
	°C
Januar	-3,7
Februar	-0,9
März	3,9
April	12,7
Mai	15,2
Juni	16,3
Juli	19,5
August	19,8
September	15,3
Oktober	8,1
November	5,4
Dezember	-0,3

Die Innentemperatur wurde mit 20°C festgelegt.

5.1. Heizwärmebedarf

5.1.1. Monatsbilanzverfahren

Als erstes Zwischenergebnis bei gleichen Eingangsdaten wurde der Heizwärmebedarf ermittelt. Wie schon öfters in dieser Arbeit erwähnt ergibt sich der Heizwärmebedarf aus der Bilanz der Wärmeverluste und Wärmegewinne der Gebäudezone.

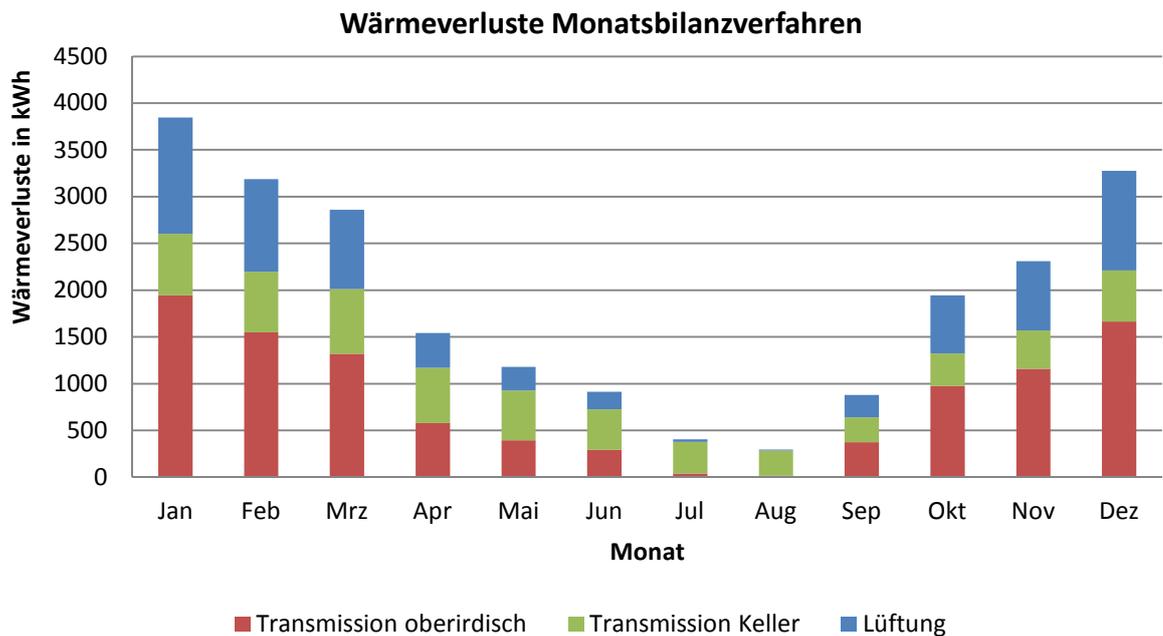


Abbildung 16 - Wärmeverluste über ein Jahr nach dem Monatsbilanzverfahren (Quelle: eigene Darstellung)

Die Wärmeverluste ergeben sich im Monatsverfahren aus den ermittelten Leitwerten und dem mittleren Temperaturunterschied zwischen Innenraum und Außenluft im jeweiligen Monat. Die Wärmeverluste über das Kellergeschoß sind aufgrund der thermischen Trägheit des Bodens phasenverschoben.

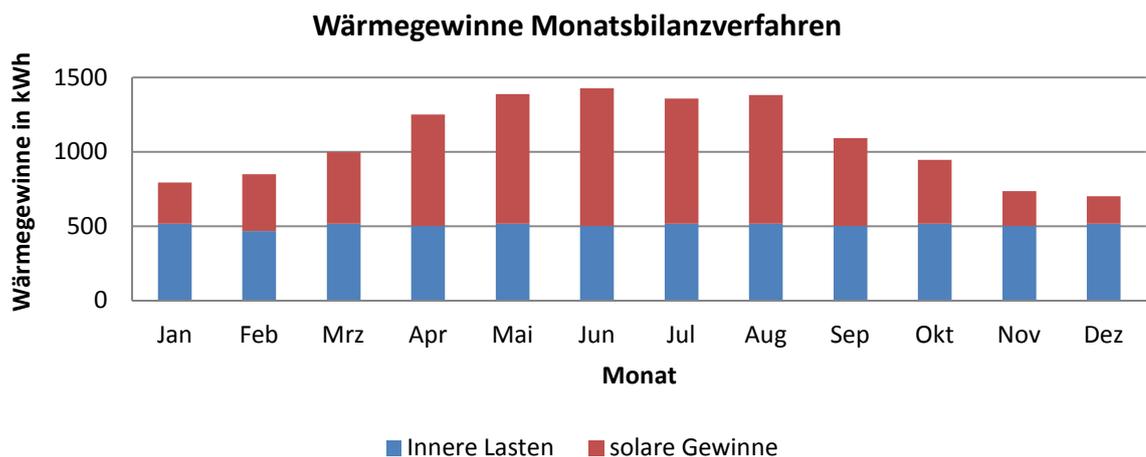


Abbildung 17 - Wärmegewinne über ein Jahr nach dem Monatsbilanzverfahren (Quelle: eigene Darstellung)

Während der Wärmeeintrag durch Personen und elektrische Geräte konstant bleibt, unterliegen die solaren Einträge einer saisonalen Schwankung.

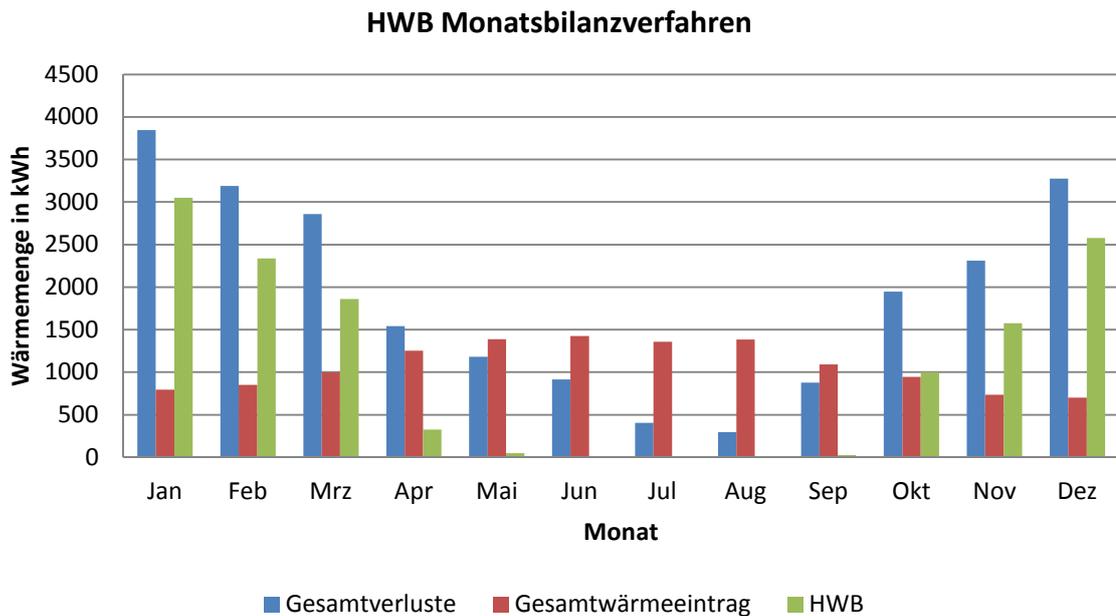


Abbildung 18 - Heizwärmebedarf nach dem Monatsbilanzverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

In den Sommermonaten übersteigen die Wärmeeinträge die Verluste. Anmerkend zu diesem Ergebnis ist zu sagen, dass die Berechnung des HWB von einer konstanten Innentemperatur in der Gebäudezone ausgeht, wodurch eine sommerliche Überwärmung mit diesem Verfahren nicht nachgewiesen wird.

5.1.2. Vereinfachtes Stundenverfahren

Durch die stündliche Berechnung aller Verluste und Gewinne ergibt sich ein Vielfaches an Daten im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren. Um eine gewisse Übersichtlichkeit zu gewährleisten, werden die einzelnen Teilergebnisse separat dargestellt.

Die Klimadaten für das stündliche Verfahren wurden an den Verlauf der stündlichen Messdaten der Stadt Linz so angepasst, dass sich die monatlichen Mittelwerte der Daten gleichen. Dabei wurde der Monatsmittelwert der Stadt Linz berechnet und die Stundenwerte mit der Differenz der Monatsmittelwerte beaufschlagt. Somit ist sichergestellt, dass die Monatssummen der Verluste gleich groß ist, während der Verlauf von tageszeitlichen Schwankungen abhängt.

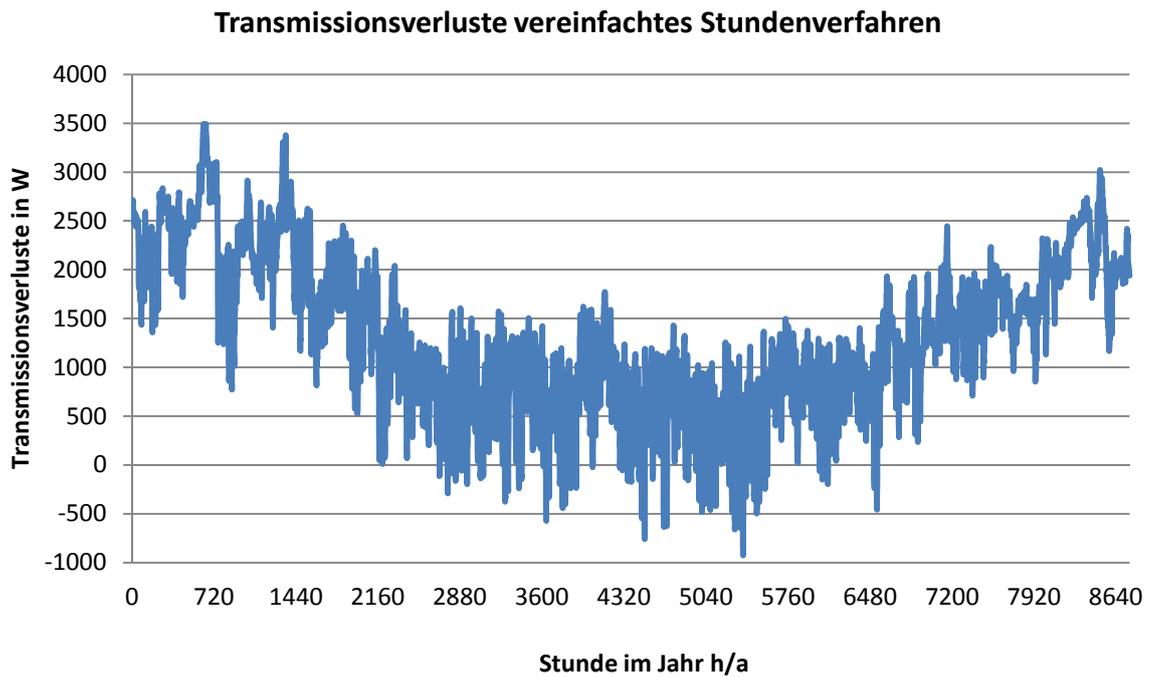


Abbildung 19 - Transmissionsverluste nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

In dieser Darstellung lassen sich sowohl tageszeitliche als auch saisonale Verläufe der Verluste erkennen. Im Sommer kommt es an sehr heißen Tagen zu einer Umkehr des Wärmeflusses von außen nach innen.

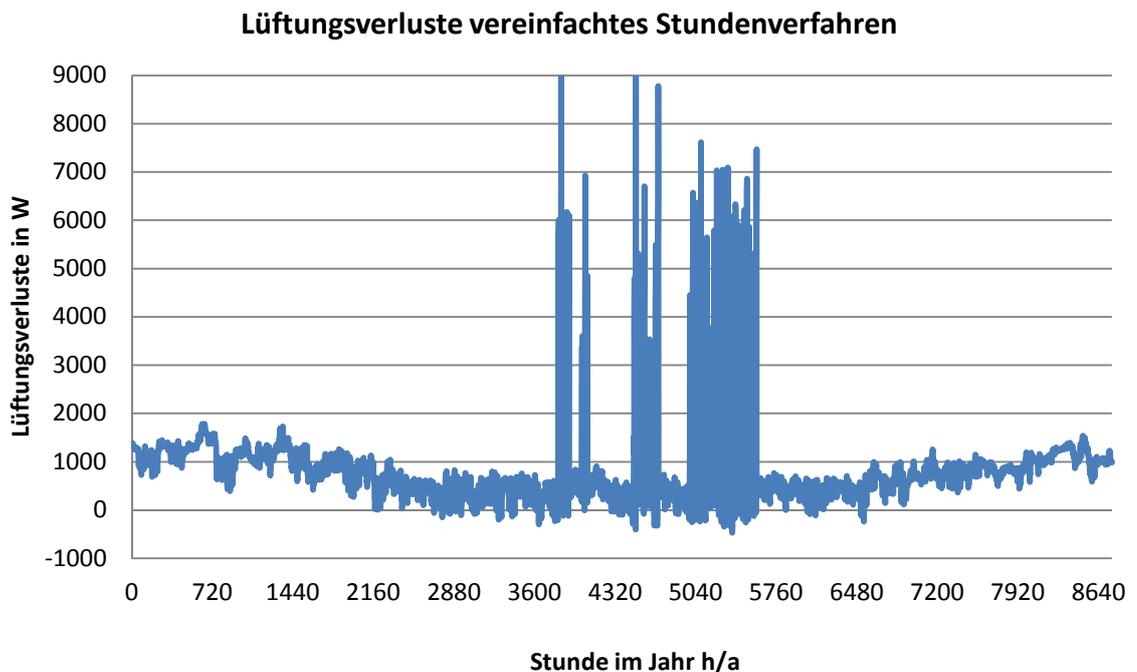


Abbildung 20 - Lüftungsverluste nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Durch die installierte Raumlüftungsanlage mit integrierter Wärmerückgewinnungseinheit sind die Schwankungen der Lüftungsverluste über das gesamte Jahr sehr gering. Die prägnant ausgeprägten Spitzen entstehen durch eine Vergrößerung der Luftwechselzahl im Fall "Nachtlüften" zur Verhinderung sommerlicher Überwärmung.

Wie bereits erwähnt wurden die Verluste über erdberührte Bauteile nach EN ISO 13370 [EN107] monatlich berechnet und gleichmäßig in Stundenwerte aufgeteilt.

Folgende Abbildung zeigt die monatlichen Mittelwerte der Verluste im vereinfachten Stundenverfahren.

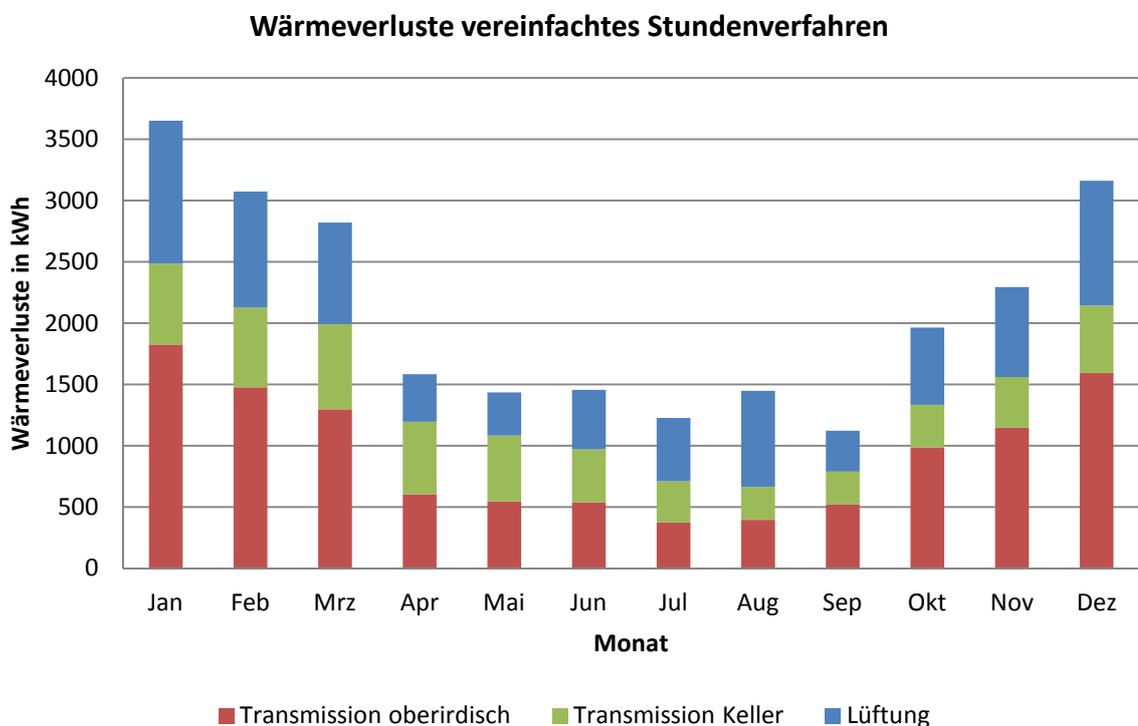


Abbildung 21 - monatliche Werte der Wärmeverluste nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Auch in diesem Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass die Lüftungsverluste im Sommer durch die größere Luftwechselzahl in den Nächten ansteigen. Da in dieser Zeit kein Heizbedarf besteht, wirkt sich dieser Umstand nicht auf den Heizwärmebedarf aus.

Die Wärmeeinträge werden nach dem vereinfachten Stundenverfahren stündlich mit einbezogen. Solare Gewinne werden dabei durch die aktuelle Einstrahlungsleistung berechnet, während für die internen Lasten vordefinierte Benutzerprofile mit angepassten Tagesverläufen als Grundlage für den stündlichen Eintrag dienen. Die Veranschaulichung der Einträge ist in den Kapiteln 4.2.3 und 4.2.4 zu finden. Da die Einträge durch innere

Lasten über den Jahresverlauf konstant bleiben werden im Folgenden nur die solaren Gewinne nach dem vereinfachten Stundenverfahren gezeigt.

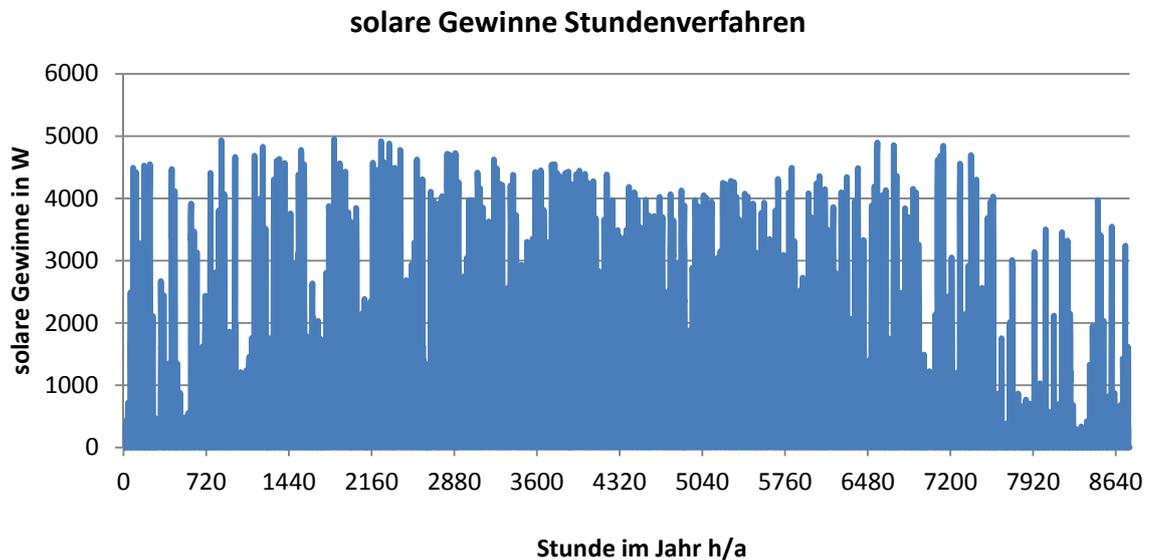


Abbildung 22 - solare Gewinne nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Durch die Darstellung der solaren Gewinne über ein Jahr sind die einzelnen Peaks sowie die nächtlichen Einstrahlungspausen nur schwer zu erkennen. Ein saisonaler Verlauf mit einer zunehmenden Intensität an Einstrahlung im Sommer ist jedoch deutlich ausgeprägt.

Die monatlichen Mittelwerte der Wärmegewinne werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

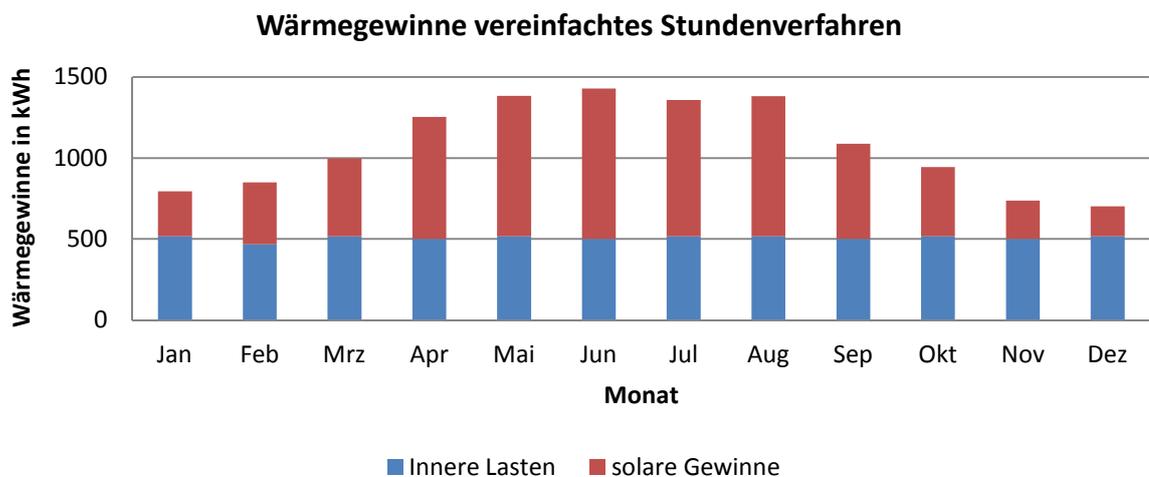


Abbildung 23 - monatliche Werte der Wärmegewinne nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Der Heizwärmebedarf für das vereinfachte Stundenverfahren setzt sich aus einer stündlichen Bilanzierung von Gewinnen und Verlusten zusammen. Sollte die geforderte Innentemperatur dabei unterschritten werden, so wird die benötigte Heizwärme zu den Gewinnen addiert. Im anschließend gezeigten Diagramm ist der Verlauf der eingetragenen Heizwärme dargestellt.

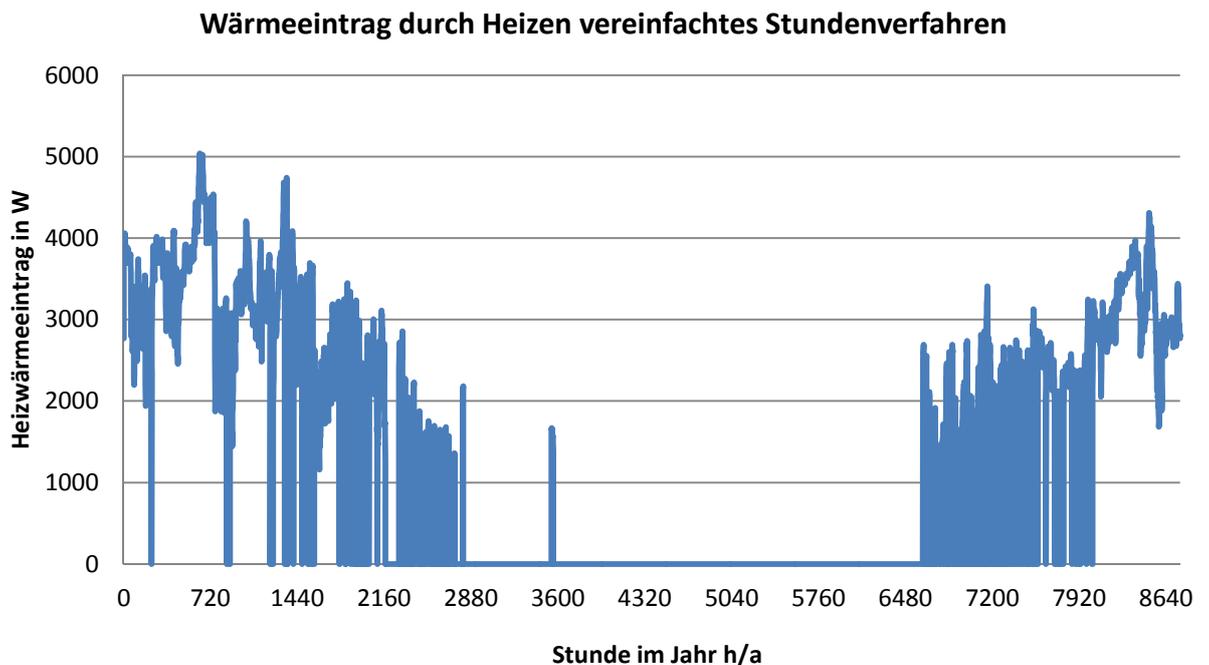


Abbildung 24 - Wärmeeintrag durch Heizen nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Die eingetragene Wärmemenge zum Heizen variiert nach Bedarf und wird zu jeder Stunde neu berechnet. Um zu vermeiden, dass die eingetragene Wärme die vorhandene Heizleistung übersteigt, wurde eine Deckelung dieser vorgenommen. In diesem Fall entspricht die Obergrenze des Heizwärmeeintrags der außentemperaturabhängigen Heizlast. Der Heizwärmebedarf ist grundsätzlich gleich wie im Monatsbilanzverfahren definiert, berechnet sich jedoch nach dem aktuellen Bedarf zu jeder Stunde des Jahres. Folgende Grafik zeigt die monatliche Aufsummierung der eingetragenen Heizwärme mit Bezug auf die monatlichen Gesamtwerte der Gewinne und Verluste.

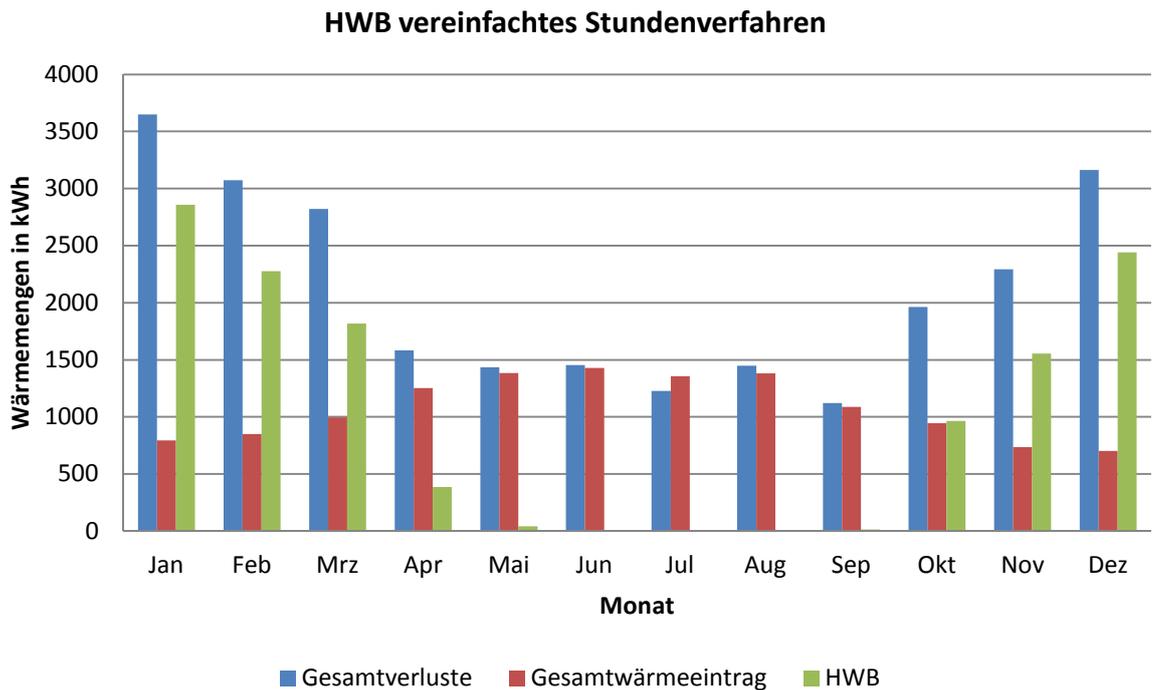


Abbildung 25 - monatliche Werte des Heizwärmebedarfs nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Als wichtiger Eingangsparameter zur Berechnung des Heizwärmebedarfs fungiert die aktuelle Innentemperatur beim vereinfachten Stundenverfahren. In folgender Grafik ist der Verlauf der Innentemperatur über ein Jahr dargestellt.

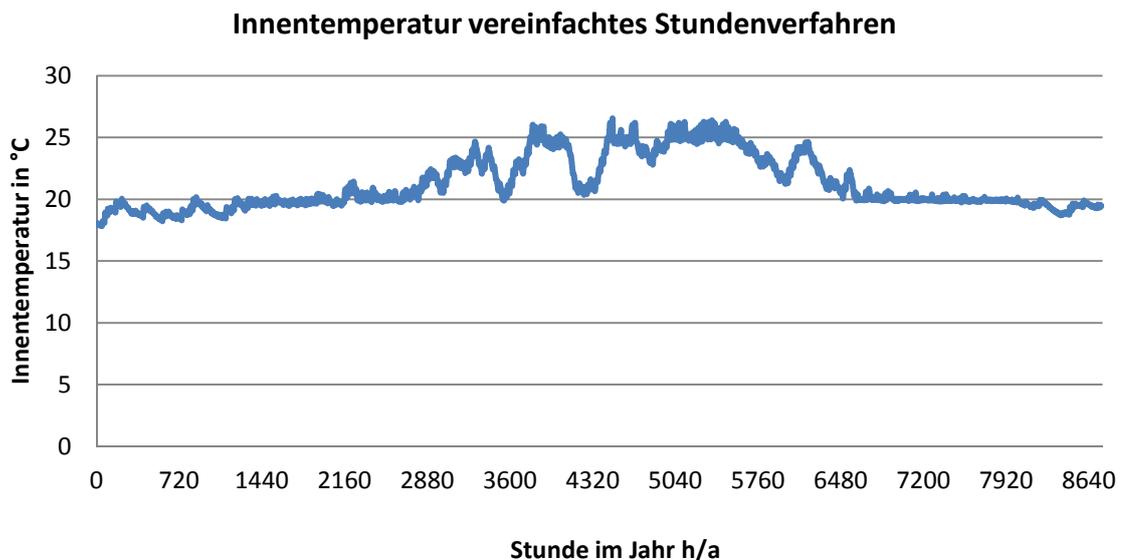


Abbildung 26 - Werte der aktuellen Innentemperatur beim vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

In dieser Darstellung ist deutlich zu erkennen, dass die Innentemperatur in den Sommermonaten ansteigt. Durch Aktivierung der speicherfähigen Bauteile wird dem

Gebäude eine gewisse Trägheit, im Bezug auf die Innentemperatur über mehrere Tage, verliehen. Durch diesen Umstand kann das Gebäude überschüssige Gewinne in den Speichermassen aufnehmen und diese, bei der Absenkung der Außentemperatur, wieder an den Innenraum rückführen.

Die vorhin erwähnte Deckelung der Heizwärme führt in den Wintermonaten zu einer Unterschreitung der geforderten Innentemperatur. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde beim modifizierten Stundenverfahren eine Anhebung der Obergrenze der eingetragenen Heizwärme auf die Heizlast bei Normaußentemperatur durchgeführt.

5.1.3. Modifiziertes Stundenverfahren

Im Vergleich zum vereinfachten Stundenverfahren, bei welchem die Berechnung ausschließlich mittels Microsoft Excel durchgeführt wird, fügt sich beim modifiziertem Stundenverfahren ein Visual Basic Programm in die Berechnung ein. Die verwendeten Zeitschritte sind nun auf Minutenbasis und die Interaktion des Wärmespeichers mit dem Warmwasserverteilsystem und dem Heizungssystem wurde detaillierter abgebildet. Auch hier kann als Zwischenergebnis der Heizwärmebedarf ausgelesen werden.

Die Eingangsdaten für diese Berechnungsmethode entsprechen denen des vereinfachten Stundenverfahrens. Somit gleichen sich die stündlichen Außentemperaturen, die Einträge aus Personen und elektrischen Geräten sowie die Einträge durch Solarstrahlung. Die verwendeten Leitwerte für Transmission und Lüftung und die Verluste an das Kellergeschoss sind ebenfalls ident. Da das Verfahren bereits die rückgewonnenen Verluste aus der Raumheisanlage inkludiert, müssen diese jedoch für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs gleich null gesetzt werden. Ausgabedaten aus dem Visual Basic Programm sind die Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung, der Bedarf an Heizwärme, die Innentemperatur sowie Kennwerte des Heizenergiebedarfs welche im späteren Verlauf der Arbeit ausführlicher beschrieben werden.

Folgende Abbildung zeigt die Transmissionsverluste welche aus der Visual Basic Berechnung ausgelesen wurden.

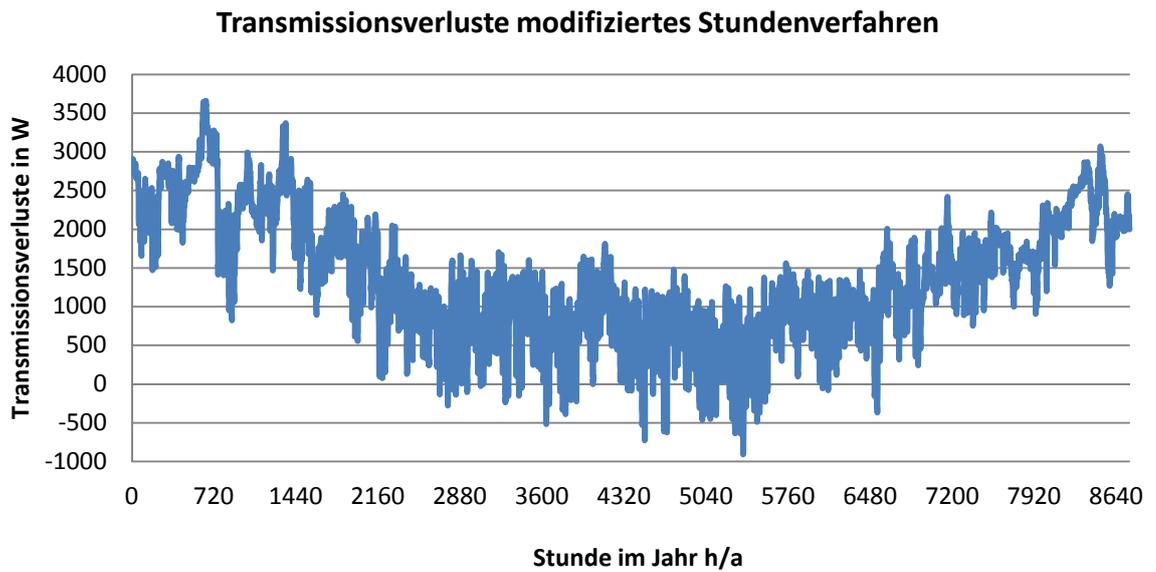


Abbildung 27 - Transmissionsverluste nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Wie beim vereinfachten Stundenverfahren lassen sich auch hier sehr gut die tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen erkennen. Unterschiede zeigen sich vor allem in den Monaten Jänner und Dezember. Hier sind die Spitzenverluste weniger ausgeprägt. Im anschließenden Kapitel wird noch einmal genauer auf die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Verfahren eingegangen und Summenwerte verglichen.

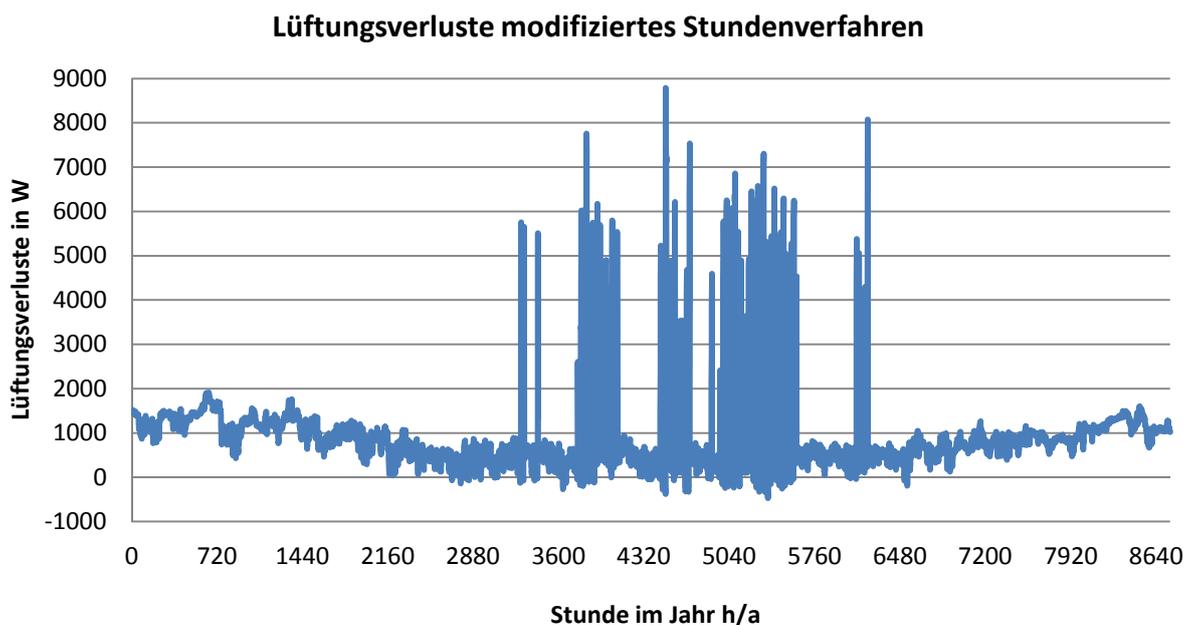


Abbildung 28 - Lüftungsverluste nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Wie bereits beim vereinfachten Stundenverfahren sind die Lüftungsverluste durch die Raumlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnungseinheit relativ gering. Es lässt sich jedoch sehr wohl ein saisonaler Verlauf erkennen.

Die monatlichen Summen der Verluste sowie die Gewinne werden in folgenden Grafiken dargestellt.

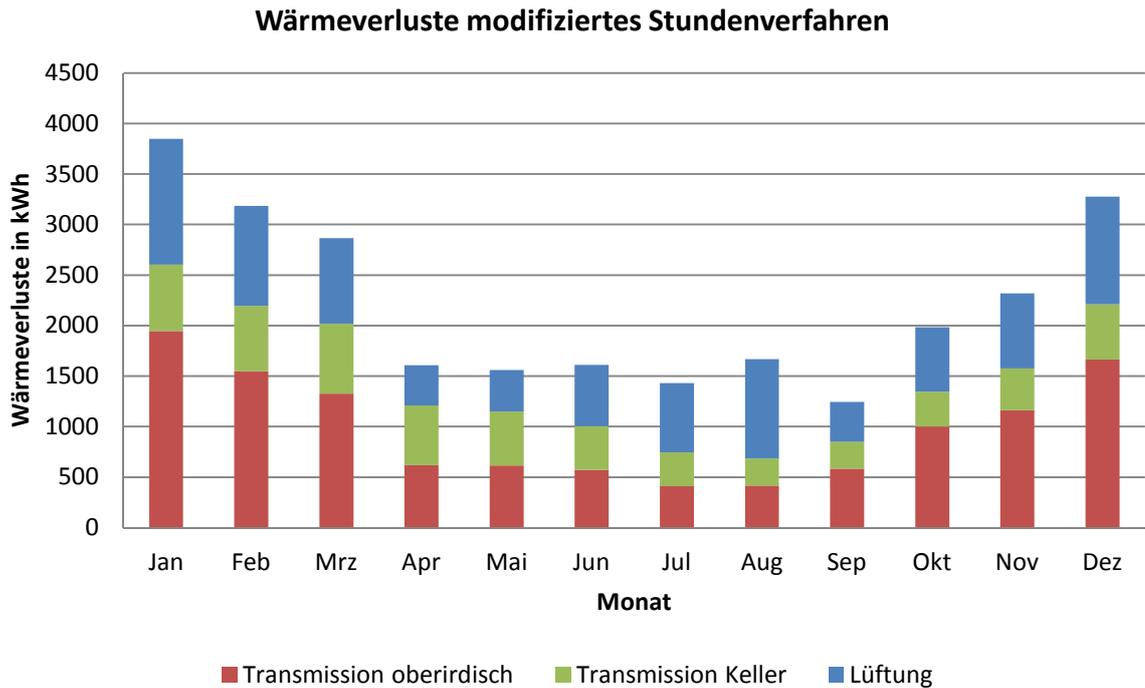


Abbildung 29 - monatliche Werte der Wärmeverluste nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

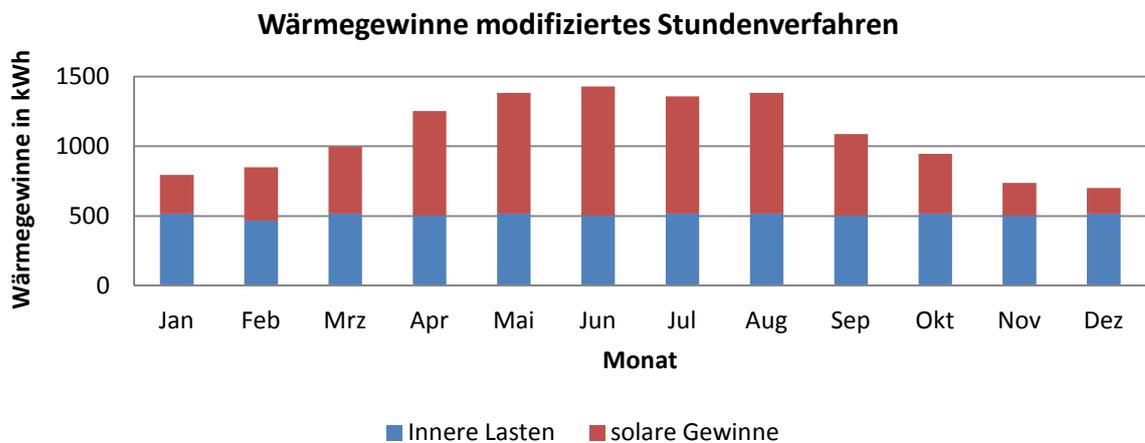


Abbildung 30 - monatliche Werte der Wärmegewinne nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Der Heizwärmeeintrag in die konditionierte Zone wird beim modifizierten Stundenverfahren über die Wärmeabgabeinstallationen des Gebäudes abgegeben. Dabei wird aus dem Schichtspeicher, in der Höhe des Vorlaufventils für die Raumheizung, Warmwasser entzogen und in die zu beheizenden Räume geführt. Eine getroffene Idealisierung dabei ist, dass der Rücklauf der Fußbodenheizung 2 Kelvin über Raumtemperatur liegt. Da der Speicher auch das Brauchwasser beinhaltet, muss dieser in den oberen Schichten eine Temperatur über 60°C aufweisen, wodurch auch die Temperaturen der unteren Schichten annähernd konstant ist. Die Abgabe der Wärme an die konditionierte Zone wurde in diesem Verfahren mit der Heizlast des Gebäudes gedeckelt. Dadurch ergibt sich eine gute Näherung für die Anzahl Betriebsstunden der Raumheizung.

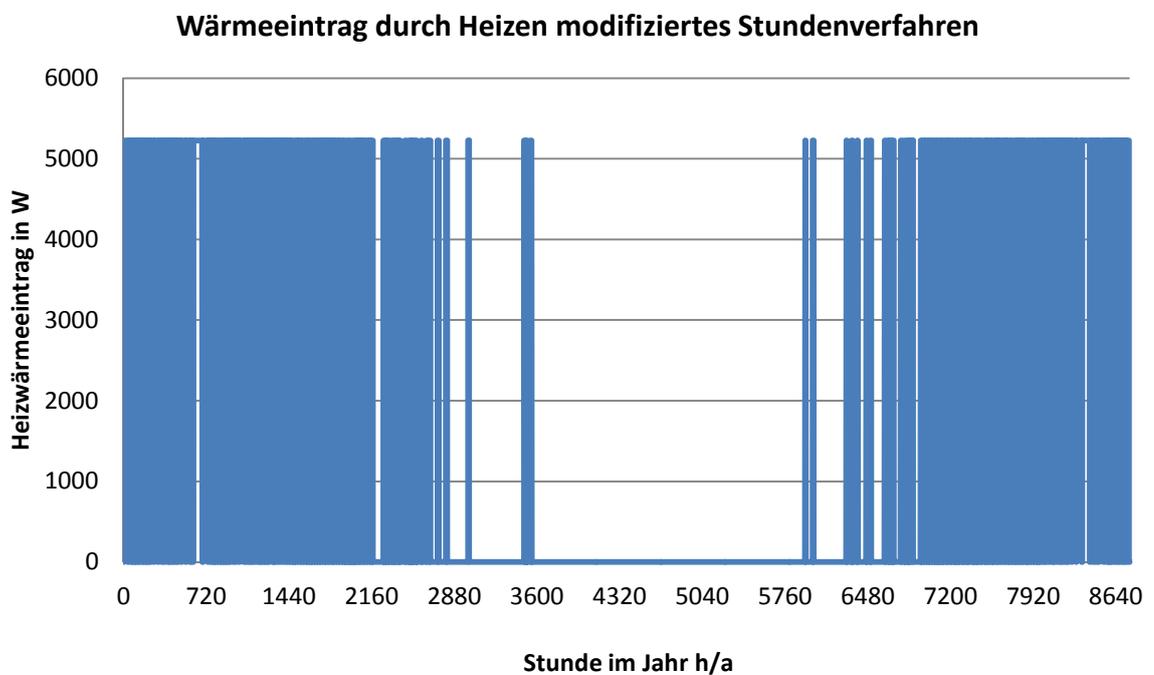


Abbildung 31 - Wärmeeintrag durch Heizen nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Die aufsummierten Werte von der Verluste, der Gewinne sowie des Heizwärmebedarfs nach dem modifiziertem Stundenverfahren sind in folgender Grafik dargestellt.

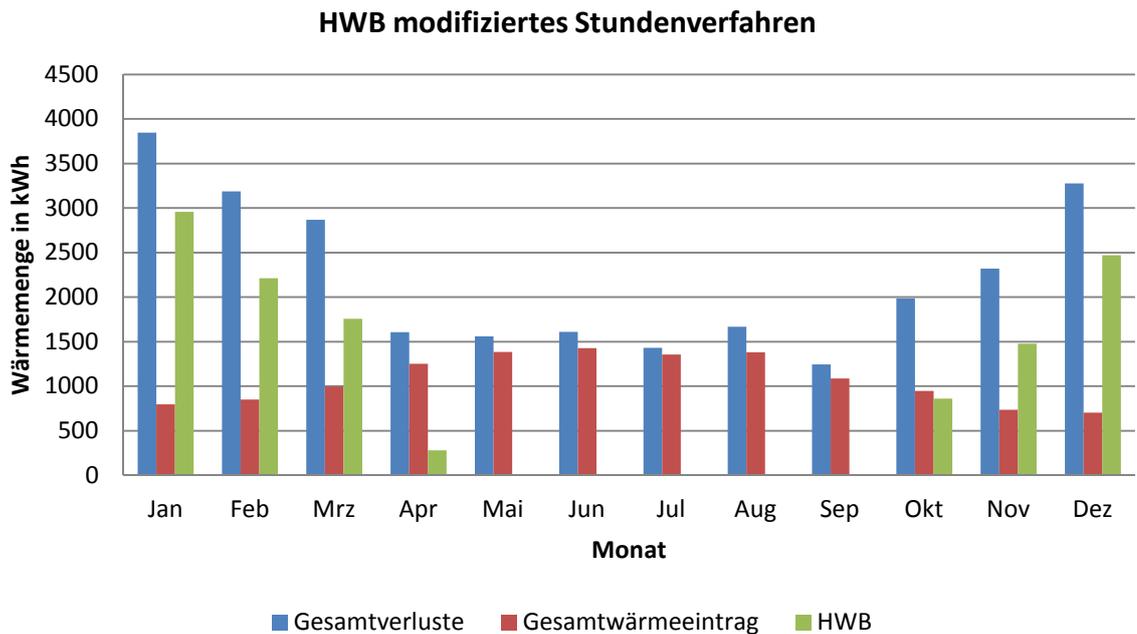


Abbildung 32 - monatliche Werte des Heizwärmebedarfs nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Da bei dem Verfahren auf Stundenbasis die Innentemperatur einen entscheidenden Beitrag in der Berechnung darstellt, müssen die Ergebnisse unter Berücksichtigung von eben dieser interpretiert werden.

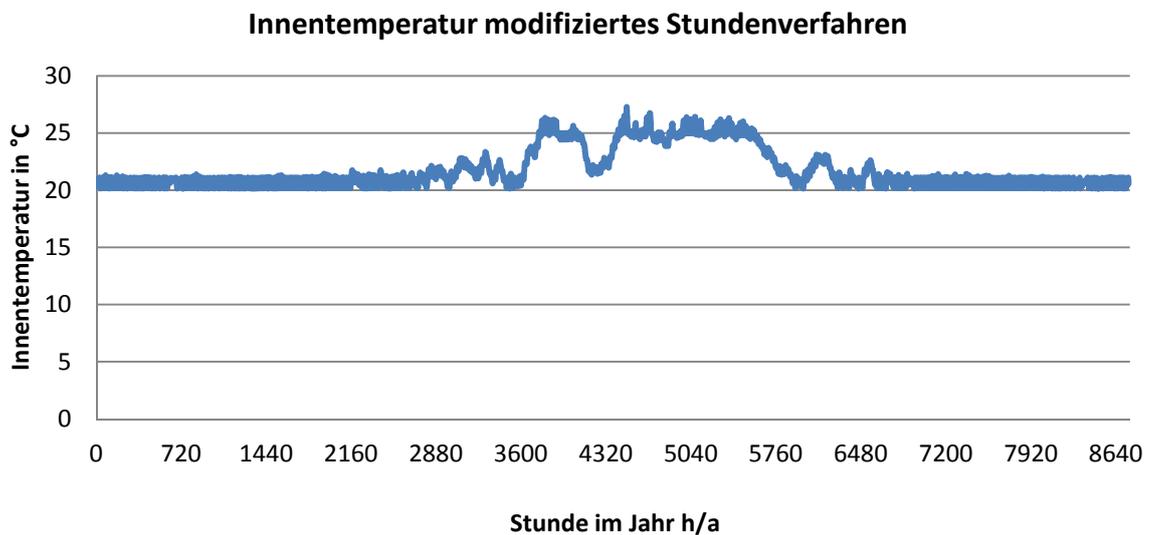


Abbildung 33 - Verlauf der Innentemperatur beim modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Bei diesem Verfahren ist eindeutig zu erkennen, dass die Aufrechterhaltung der gewünschten Mindesttemperatur für das Heizungssystem keine Problematik darstellt.

5.1.4. Vergleich der Verfahren

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Heizwärmebedarfs untereinander verglichen und analysiert. Um eine gewisse Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wird nur auf die Verluste durch Transmission und Lüftung, sowie den Heizwärmebedarf eingegangen. In diesen Bereichen treten auch die signifikanten Unterschiede bei den Ergebnissen auf.

Die Transmissionsverluste der Verfahren unterscheiden sich in erster Linie dadurch, dass beim Monatsbilanzverfahren auch im Sommer die gewünschte Innentemperatur von 20°C vorherrscht. Durch die erhöhte Innentemperatur bei den Stundenverfahren vergrößert sich auch die Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenluft in den Sommernächten. Damit einhergehend steigen die Verluste an.

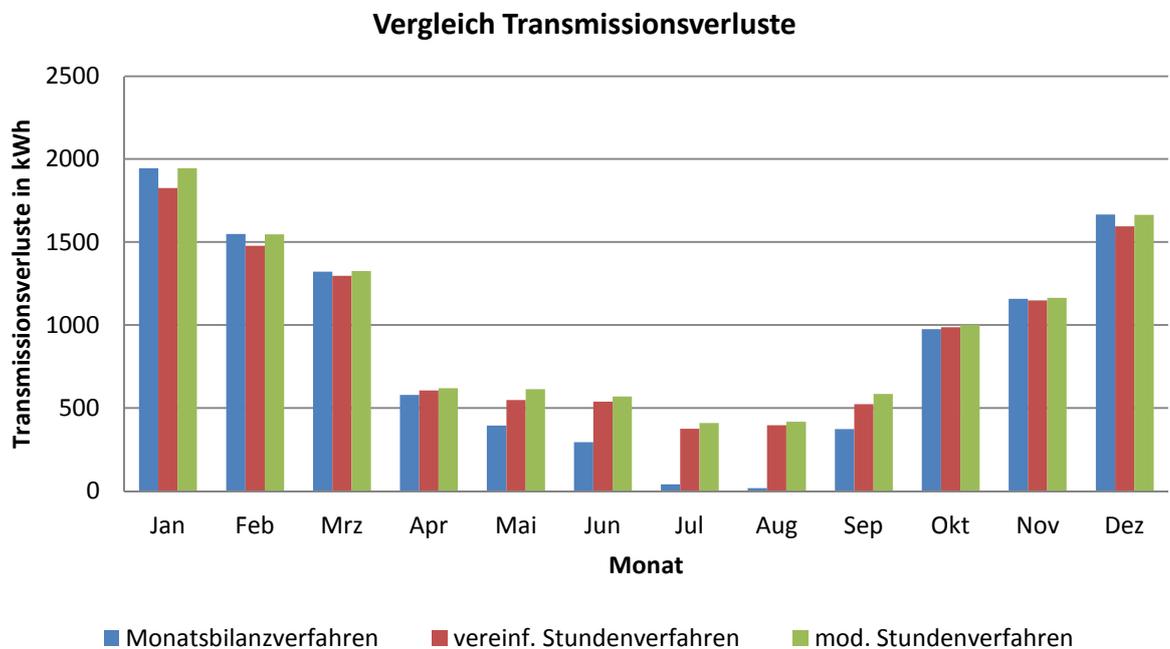


Abbildung 34 - Vergleich der Transmissionsverluste nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)

Die Monatssummen der Verluste nach dem Monatsbilanzverfahren weichen denen vom modifizierten Stundenverfahren marginal ab. Wie schon erwähnt sind die Verluste in den Sommermonaten mit Berücksichtigung der aktuellen Innentemperatur zu bewerten. Folgende Tabelle vergleicht die Zahlenwerte der Transmissionsverluste der drei Verfahren.

Tabelle 3 - Vergleich der Zahlenwerte der Transmissionsverluste nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)

	Vergleich Transmissionsverluste in kWh/Monat		
	Monatsbilanzverfahren	vereinf. Stundenverfahren	mod. Stundenverfahren
Jan	1.944	1.825	1.945
Feb	1.549	1.478	1.547
Mrz	1.321	1.297	1.325
Apr	580	606	619
Mai	394	549	614
Jun	294	539	570
Jul	41	376	410
Aug	16	396	417
Sep	373	522	584
Okt	976	988	1.000
Nov	1.159	1.149	1.163
Dez	1.665	1.595	1.665

Bei den Lüftungsverlusten fehlt es dem Monatsbilanzverfahren an einer Überprüfung der Innentemperatur. Infolge dessen wird das veränderte Lüftungsverhalten in den Sommermonaten nicht berücksichtigt.

Vergleich Lüftungsverluste

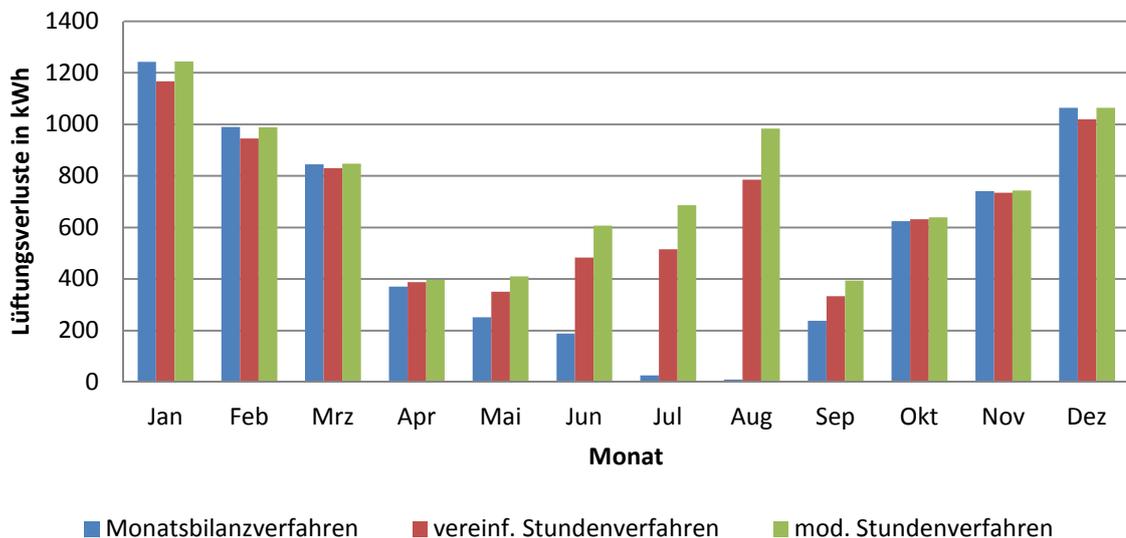


Abbildung 35 - Vergleich der Lüftungsverluste der verschiedenen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)

Bei den Stundenverfahren wird im Sommer mehr Wärme durch Lüftung abgeführt, um die maximale Innentemperatur von 26°C nicht zu überschreiten. Abgesehen davon liefert das

Monatsbilanzverfahren und das modifizierte Stundenverfahren, mit Ausnahme der Sommermonate, beinahe idente Ergebnisse. Auch hier wird ein Vergleich der Zahlenwerte in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 4 - Vergleich der Zahlenwerte der Lüftungsverluste nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)

	Vergleich Lüftungsverluste in kWh/Monat		
	Monatsbilanzverfahren	vereinf. Stundenverfahren	mod. Stundenverfahren
Jan	1.243	1.167	1.243
Feb	990	945	989
Mrz	844	829	847
Apr	370	387	396
Mai	252	351	411
Jun	188	483	606
Jul	26	516	686
Aug	10	785	983
Sep	239	334	394
Okt	624	631	639
Nov	741	734	744
Dez	1.064	1.020	1.064

Abschließend werden in diesem Kapitel noch die Ergebnisse des Heizwärmebedarfs verglichen.

Vergleich HWB

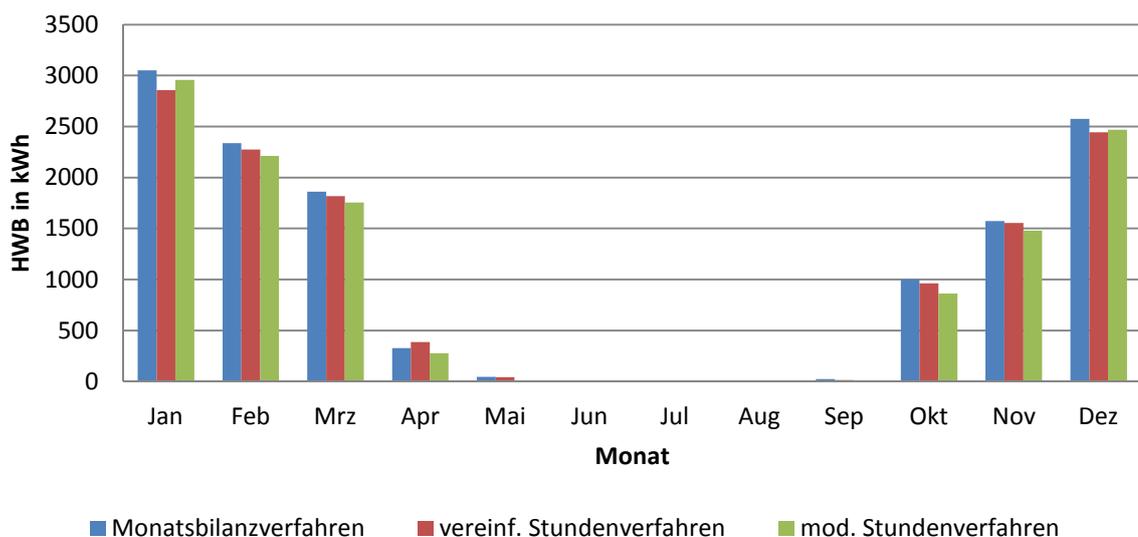


Abbildung 36 - Vergleich des HWB nach den verschiedenen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)

Der Heizwärmebedarf nach dem Monatsbilanzverfahren und den Stundenverfahren decken sich nahezu, wobei das modifizierte Stundenverfahren Abweichungen aufweist. Die Ergebnisse der Stundenverfahren zeigen, dass der Zeitschritt der Berechnung an den Ergebnissen keine signifikanten Unterschiede ausmacht. Sehr wohl wirkt sich die unterschiedliche Modellierung der Wärmeabgabe an den Raum aus.

Um einen abschließenden Vergleich des Heizwärmebedarfs zu zeigen, wird der jährliche Gesamtwert auf die Bezugsfläche des Gebäudes von 253,9 m² dargestellt.

Tabelle 5 - Vergleich des Heizwärmebedarfs nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)

	gesamt	flächenbezogen
	kWh/a	kWh/m ² a
Monatsbilanzverfahren	12.809	50,45
vereinfachtes Stundenverfahren	12.360	48,68
modifiziertes Stundenverfahren	12.012	47,31

5.2. Heizenergiebedarf

Ausgehend vom Heizwärmebedarf werden im Folgenden die Ergebnisse für den Heizenergiebedarf aufgeführt, veranschaulicht und interpretiert. Die einzelnen Komponenten der Berechnung sind die Wärmeerzeuger, wie Wärmepumpe und solarthermische Anlage, der Wärmespeicher und das Wärmeverteilsystem. Die Raumlüftungsanlage wird nicht gesondert berechnet, da der konstante Stromverbrauch bekannt ist und die Wärmerückgewinnung bereits beim Heizwärmebedarf berücksichtigt wurde.

Als Ausgangsbasis für die Berechnung dienen der, im vorhergehenden Kapitel berechnete, Heizwärmebedarf und der Warmwasserwärmebedarf. Mit diesen Werten ist eindeutig definiert, zu welcher Stunde wie viel Wärme benötigt wird, um die gewünschte Raumtemperatur zu halten oder den Warmwasserbedarf zu decken. Die thermische Solaranlage ist als passive Einheit zu verstehen. Genauer gesagt, wird nur dann Wärme von der Solaranlage eingetragen, wenn diese durch die Sonne generiert wird und ist somit bedarfsunabhängig. Der Ablauf der Berechnung in Visual Basic besteht aus der Ermittlung der eingetragenen Wärme aus der Solaranlage und anschließender Berechnung des zusätzlichen Wärmebedarfs, um Raumheizung und Warmwasserbereitstellung zu decken. Dieser zusätzliche Wärmebedarf wird aus Visual

Basic ausgegeben und als Anforderung an die Wärmepumpe weiterverarbeitet. In der folgenden Abbildung werden die Wärmeströme des Speichers veranschaulicht.

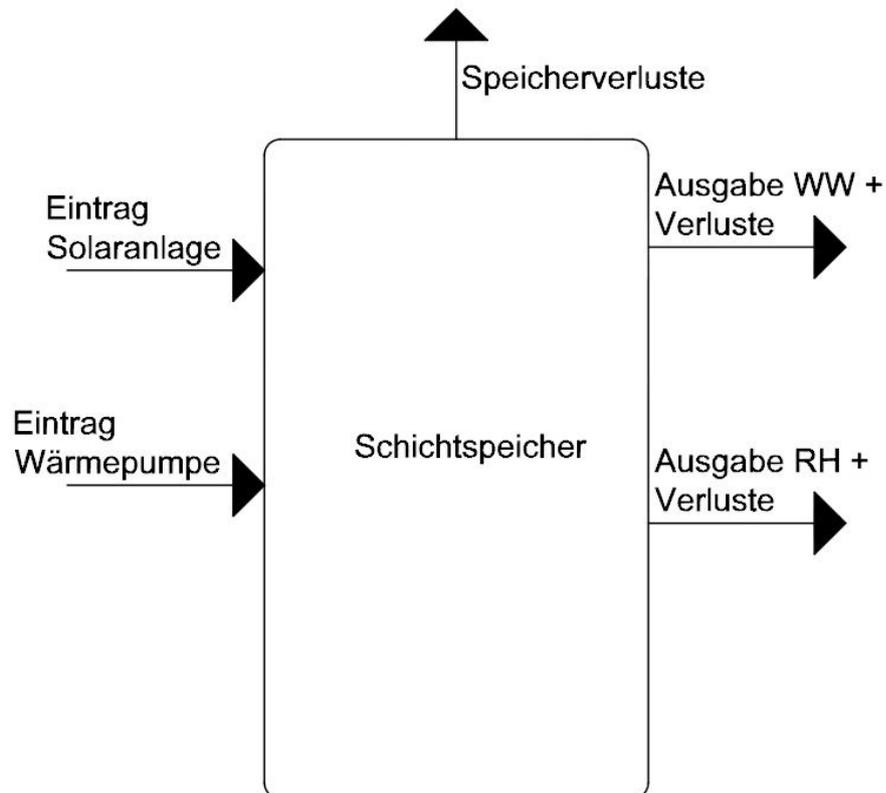


Abbildung 37 - Schema der Speicherberechnung (eigene Darstellung, basierend auf der entwickelten Berechnungsmethode)

5.2.1. Thermische Solaranlage

Wie bereits erwähnt, liefert die thermische Solaranlage bedarfsunabhängig Wärme in den Speicher. Die Berechnung erfolgt mit dem, in Excel integrierten, Visual Basic Makro mit den standortbezogenen Einstrahlungswerten und den technischen Kennwerten der Anlage. Folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Wärmeeinträge durch die thermische Solaranlage über ein Jahr.

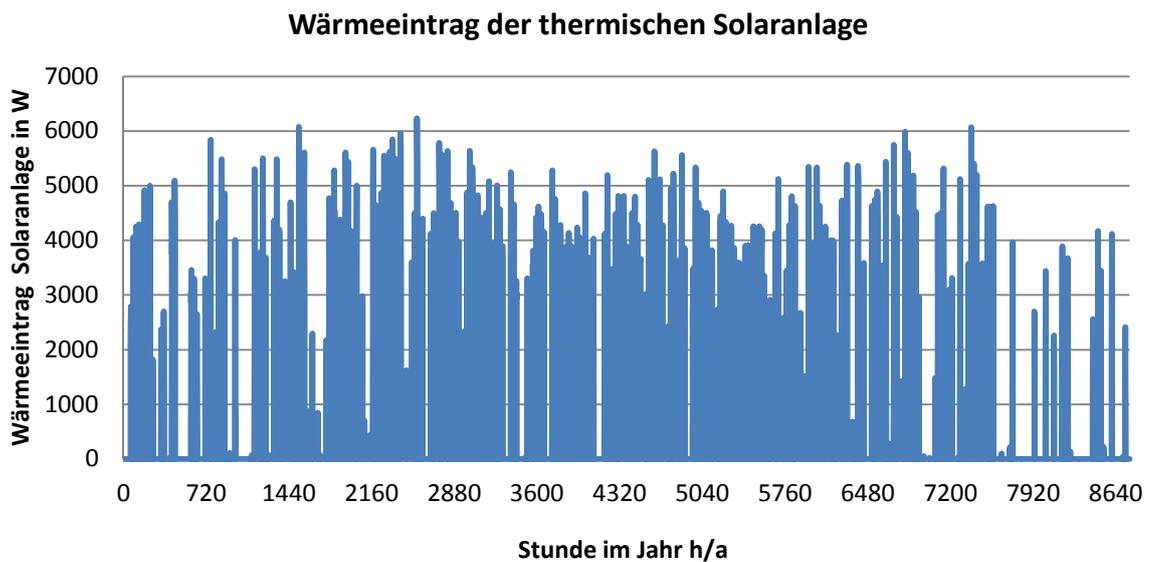


Abbildung 38 - Wärmeeintrag der thermischen Solaranlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Eine Möglichkeit diese Einträge effizient zu nutzen liegt in der Anpassung des Nutzerverhaltens an das Wärmeangebot (z.B: abendliche Duschen/Bäder statt morgens).

5.2.2. Warmwasserwärmebedarf

Der Warmwasserwärmebedarf ergibt sich aus Richtwerten für den Bedarf an Warmwasser. Im speziellen Fall wurde für einen 4-Personenhaushalt ein täglicher Warmwasserbedarf von 150 l angesetzt. Diese Menge wird dem Speicher entnommen und durch die Leitungen an die Abgabeinstallationen geführt. Verluste durch Aufwärmen der Sticleitungen sind schon in dieser Menge berücksichtigt.

Durch das verwendete Nutzerprofil wird ein vordefiniertes, tägliches Verhaltensschema für die Warmwasserentnahme in die Berechnung eingefügt. Die durchschnittliche Dauer des Entnahmeereignisses wird als zusätzlicher Faktor integriert. Die Energiemenge des Tagesbedarfs an Warmwasser wird in der Berechnung als konstant angenommen und liegt bei 8,72 kWh/d. Diese Wärmemenge wird dem Speicher entzogen. Da Warmwasserbereitstellung und Wärmebereitstellung für Raumheizung aus einem Speicher bezogen werden, wird der Bedarf an Energie für Warmwasser nicht explizit ausgegeben.

5.2.3. Wärmebedarf für Raumheizung

Während im Kapitel 5.1 die rückgewonnenen Verluste für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs noch gleich null gesetzt wurden, können zur Berechnung des Wärmebedarfs für die Raumheizung alle Wärmeeinträge in das Gebäude berücksichtigt

werden. Im speziellen Fall sind dies die Einträge durch die Erhitzung der Warmwasserrohre bei der Entnahme, Speicherverluste, da dieser in der konditionierten Zone aufgestellt ist, und die Verluste jener Heizungsrohre, welche in der konditionierten Zone installiert sind. Die Auswirkungen dieser Wärmegewinne sind sowohl im Wärmebedarf für Raumheizung, als auch im zusätzlichen Lüftungsbedarf in den Sommermonaten zu erkennen.

Die Regulierung der eingetragenen Heizwärme erfolgt über die aktuelle Innentemperatur. Wird die flächengemittelte, durchschnittliche Innentemperatur um 0,5 Kelvin unterschritten, bringt die Heizanlage so lange Wärme in die konditionierte Zone ein bis die Temperatur um 1 Kelvin angestiegen ist.

Der Eintrag der Wärme, im Falle "Heizen", wurde mit einer Leistung von 5,14 kW beschränkt. Diese Obergrenze verhindert unrealistisch hohe Wärmeeinträge und liefert eine plausible Situation mit realistischen Heizzeiten und ausreichender Leistung zur Erhaltung der Minimaltemperatur in den Wintermonaten. Um eine übersichtliche Darstellung des Heizwärmeeintrages zu zeigen, wurden die monatlichen Summenwerte zusammengefasst und der Wärme, welche in den Speicher eingetragen werden muss, gegenübergestellt.

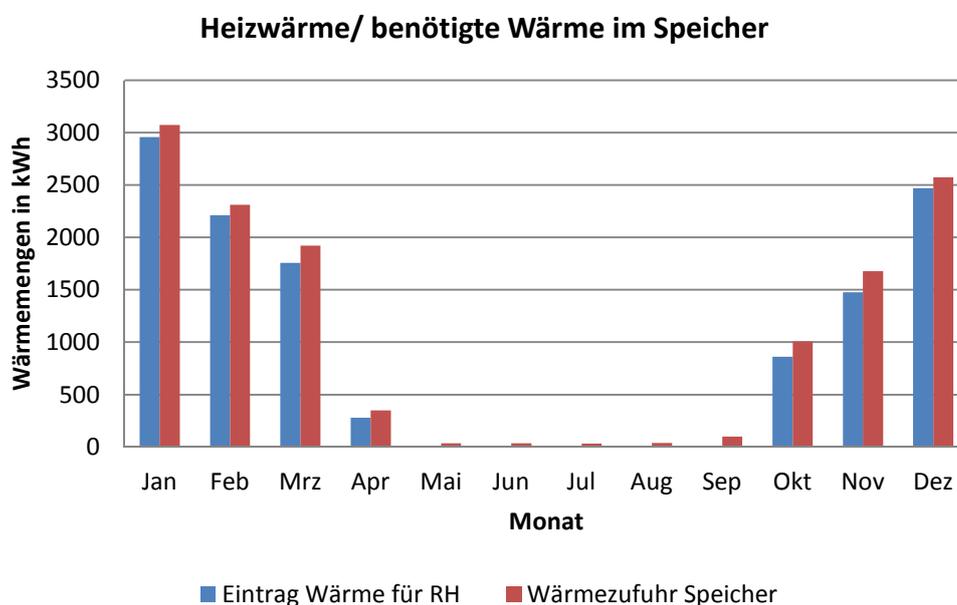


Abbildung 39 - monatliche Summenwerte des Wärmeeintrags für Raumheizung im Vergleich zum Wärmeeintrag in den Speicher (Quelle: eigene Darstellung)

In der Berechnung der Innentemperatur finden sich die rückgewonnenen Anlagenverluste wieder. Ein Aspekt, welcher die daraus resultierenden dynamischen Effekte dieses

Verfahrens veranschaulicht, lässt sich bei den Lüftungs- und Transmissionsverlusten erkennen. Durch den vermehrten Wärmeeintrag in den Sommermonaten zufolge des Speichers und den Warmwasserverlusten, steigen diese deutlich an. Im Kapitel 6 wird, unter anderem, die Variante mit unkonditioniertem Speicheraufstellungsort untersucht.

5.2.4. Anlagenverluste

Die Anlagenverluste setzen sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- Verluste der Warmwasserleitungen
- Verluste der Leitungen für Raumheizung
- Verluste des Wärmespeichers

Bei den ausgewiesenen Verlusten wird detailliert unterschieden in welchem Bereich des Gebäudes sie auftreten. Während Verluste an die unkonditionierte Zone verloren gehen, können die Verluste welche in der konditionierten Zone auftreten in die Wärmebilanz einbezogen werden. Dies läuft in der Visual Basic Simulation über die aktuelle Berechnung der Innentemperatur ab.

Berechnet werden die Leitungsverluste über die Wärmeleitfähigkeit der Leitung und der Temperaturdifferenz zwischen dem inhärenten Wasser und der Umgebung. Beim Speicher erfolgt die Ermittlung der Verluste über die Aufsummierung der Verluste der einzelnen Schichten des Speichers. Verluste für Raumheizung in der konditionierten Zone wirken mit dem Wärmeeintrag für Raumheizung. Warmwasserverluste an die konditionierte Zone treten auch außerhalb der Heizperiode auf. In der Berechnung wird angenommen, dass die Verluste für Warmwasser nicht gesondert erzeugt werden müssen, sondern bereits in der geforderten Wärmemenge für Warmwasser enthalten sind.

Folgende Grafik zeigt die Verluste welche bei konditioniertem Speicheraufstellungsort in die Wärmebilanz des Gebäudes aufgenommen werden müssen.

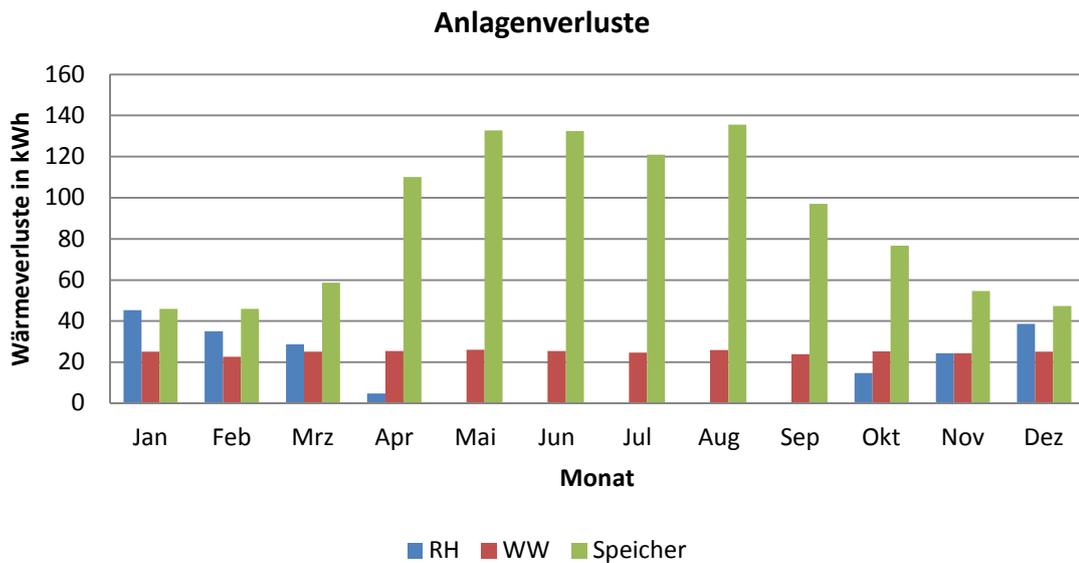


Abbildung 40 - monatliche Verluste aus Raumheizung, Warmwasser und Wärmespeicherung (Quelle: eigene Darstellung)

Deutlich zu erkennen ist, dass die Speicherverluste in den Sommermonaten einen Zenit erreichen. Dies lässt sich auf den hohen Eintrag aus der Solaranlage, sowie den Umstand, dass die Energie nicht zum Heizen verwendet wird, zurückführen.

5.2.5. Wärmepumpe

Werden die vorhandenen Wärmeströme nach Abbildung 36 bilanziert, so ergibt sich der Wärmebedarf welcher vom aktiven Wärmebereitstellungsgerät aufgebracht werden muss. Im Falle des untersuchten Gebäudes ist dieses Gerät die Wärmepumpe. Diese wurde mit den Ausgabedaten aus Visual Basic berechnet. Die stündlichen Werte dieses Wärmebedarfs und die Monatssummen werden in den folgenden Grafiken dargestellt. Auch hier wurde eine Deckelung des Heizeintrags nach der Wärmeleistung der Wärmepumpe vorgenommen.

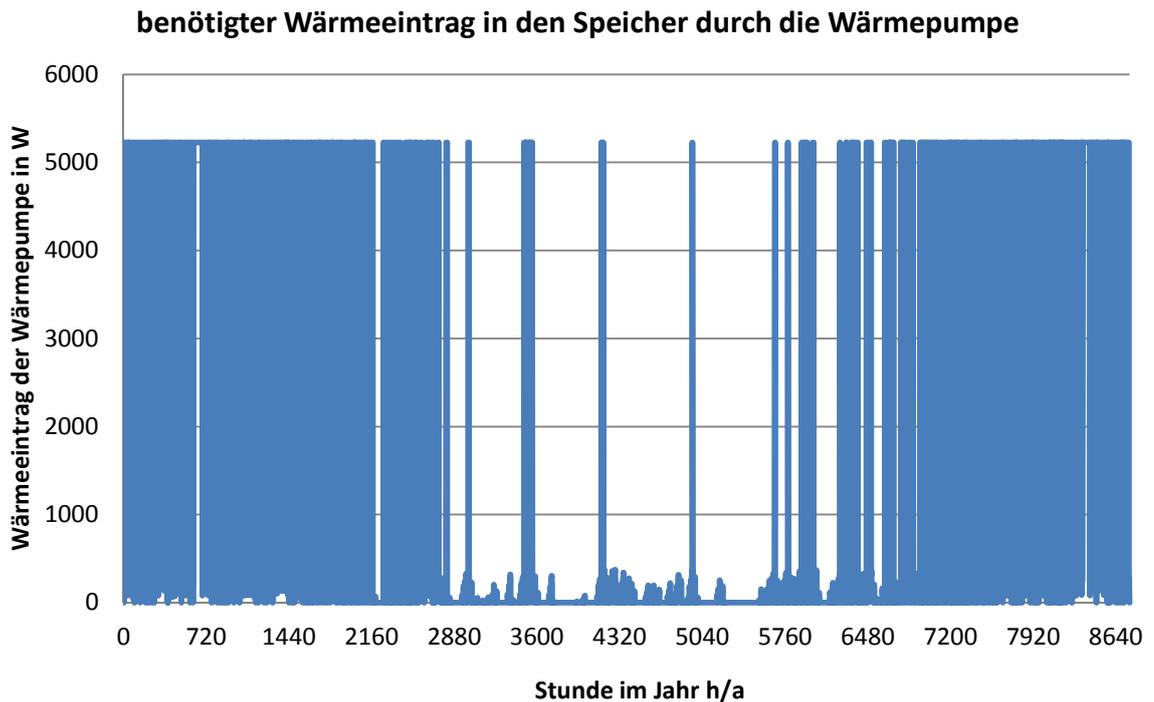


Abbildung 41 - stündlicher Bedarf an Wärme durch aktives Wärmebereitstellungssystem über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

In dieser Grafik ist deutlich zu erkennen, in welchem Zeitraum die thermische Solaranlage den Bedarf an Warmwasser zur Gänze deckt. Deutlich hebt sich auch der Zeitraum ab, in welchem Heizwärmebedarf besteht.

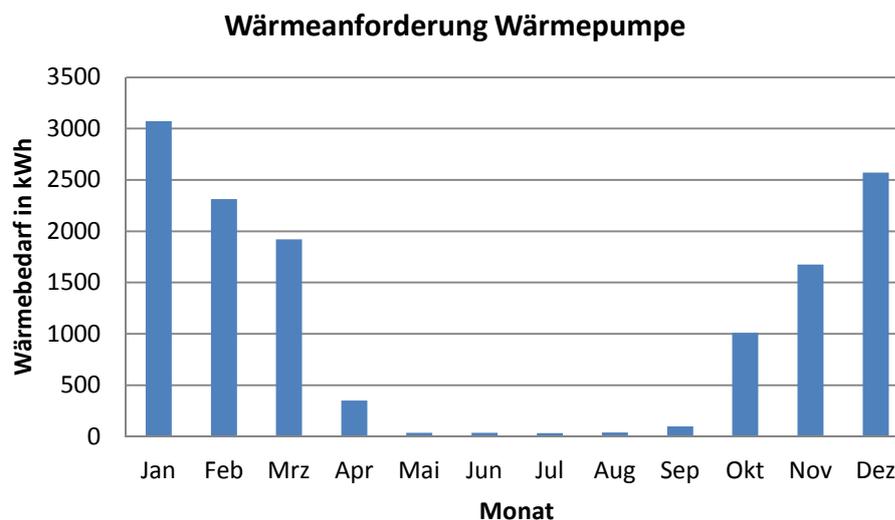


Abbildung 42 - monatliche Summenwerte des Bedarfs an zugeführter Wärme im Kessel über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Die Verbrauchsermittlung der Luft-Wasser-Wärmepumpe wird im Kapitel Endenergiebedarf dieser Arbeit ermittelt.

5.2.6. Bilanzierung der Wärmeflüsse der technischen Gebäudeausrüstung

In diesem Kapitel wird die gesamte Wärmemenge des Speichers bilanziert. Zur Seite der eingetragenen Wärme in den Speicher zählen die thermische Solaranlage und die Wärmepumpe. Auf der anderen Seite der Bilanz stehen der Bedarf an Wärme für Raumheizung und Warmwasser mit den zugehörigen Verlusten und die Speicherverluste.

Tabelle 6 - Bilanz der Wärmemengen auf Ebene der technischen Gebäudeausrüstung in kWh (Quelle: eigene Darstellung)

	Bilanz in kWh	
	Wärmeeintrag	Wärmeausgabe
Solaranlage	3.105	-
Wärmepumpe	13.156	-
Wärme Raumheizung	-	12.012
Wärme Warmwasser	-	3.183
Verluste Speicher	-	1.058
Gesamt	16.261	16.253

Da die Berechnung des Gebäudes dynamisch erfolgt, ergibt sich die Bilanzierung als schlüssig mit einer minimalen Abweichung.

5.3. Endenergiebedarf

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel erwähnt, wird in diesem Abschnitt der Arbeit der Energiebedarf zur Deckung des Heizenergiebedarfs ermittelt. Grundlage für die Berechnung sind die Anforderungen an das Wärmebereitstellungssystem und die erforderliche Energie zum Betrieb der gesamten Heizanlage.

Im durchgerechneten Beispiel wird die benötigte Wärme von einer Luft-Wasser-Wärmepumpe bereitgestellt. Diese verwendet Strom als Energieträger und wird mit der stündlichen Anforderung an Energie, unter Berücksichtigung der technischen Parameter des Gerätes sowie den Umgebungsbedingungen zur aktuellen Stunde, berechnet. Der zweite Teil des Energieaufwandes für das Heizsystem ist bestimmt durch den Betrieb der Anlage, wobei vor allem die installierten Pumpen und die Raumlüftungsanlage Energie beziehen.

5.3.1. Stromverbrauch Wärmepumpe

Der Berechnung des Strombedarfs der Luft-Wasser-Wärmepumpe liegt folgende Formel zugrunde:

$$P_{WP,el,t} = \frac{P_{WP,KN}}{COP_t}$$

dabei ist

$P_{WP,el,t}$ die elektrische Leistung der Wärmepumpe zur Stunde t, in kW

$P_{WP,KN}$ die Nennwärmeleistung der Wärmepumpe beim Normpunkt, in kW

COP_t die Leistungszahl der Wärmepumpe unter den Umgebungsbedingungen zur Stunde t

Die Leistungszahl der Wärmepumpe richtet sich nach der aktuellen Quell- und Zieltemperatur und wird stündlich aktualisiert. Da die Berechnung mit Wärmemengen arbeitet und nicht mit der benötigten Temperatur und Menge an Wasser, wurde die Ausgabetemperatur nach Bedarf an Heizung oder Warmwasser aufgeteilt.

Tabelle 7 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Luft-Wasser-Wärmepumpe über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

	Betriebsstunden	Strombedarf
	h	kWh
Januar	727	1.546,82
Februar	651	1.105,39
März	673	834,54
April	418	148,41
Mai	278	18,58
Juni	248	17,67
Juli	325	14,44
August	244	18,27
September	466	47,69
Oktober	582	416,35
November	635	695,35
Dezember	724	1.202,01
Gesamt	5971	6.065,52

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe ergibt sich also nach der stündlichen Berechnung zu 6.065,52 kWh. Vergleicht man die benötigte elektrische Leistung mit der

ausgegebenen Wärmeleistung der Wärmepumpe, so erhält man die Jahresarbeitszahl. Diese liegt nach der Berechnung bei 2,17.

5.3.2. Stromverbrauch Wasserpumpen

Pumpen dienen im Heizungssystem zum Transport von Wasser in den Rohrleitungen. Zur Ermittlung des Stromverbrauchs dieser Pumpen, bedarf es der Kenntnis von Laufzeit und Leistung der einzelnen Pumpen.

Die installierte Pumpe für die thermische Solaranlage weist eine Leistung von 90 Watt auf. Die Anzahl der Betriebsstunden kann aus der Berechnung der Anlage entnommen werden.

Tabelle 8 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Solarpumpe über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

	Betriebsstunden	Strombedarf
	h	kWh
Januar	76	6,84
Februar	95	8,55
März	131	11,79
April	133	11,97
Mai	134	12,06
Juni	131	11,79
Juli	145	13,05
August	148	13,32
September	108	9,72
Oktober	107	9,63
November	69	6,21
Dezember	51	4,59
Gesamt	1.328	119,52

Der berechnete jährliche Stromverbrauch der thermischen Solaranlage beträgt 119,52 kWh.

Die zwei Pumpen für die Raumheizung weisen zusammengefasst eine Leistung von 121 Watt auf. Die Betriebsstunden ergeben sich wieder aus der Visual Basic Berechnung. Wenn Heizwärme in die konditionierte Zone eingetragen wird, sind diese Pumpen in Betrieb.

Tabelle 9 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Raumheizungspumpen über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

	Betriebsstunden	Strombedarf
	h	kWh
Januar	552	66,79
Februar	413	49,97
März	328	39,69
April	52	6,29
Mai	0	0
Juni	0	0
Juli	0	0
August	0	0
September	0	0
Oktober	161	19,48
November	276	33,40
Dezember	461	55,78
Gesamt	2243	271,40

5.3.3. Stromverbrauch Raumlüftungsanlage

Die im Haus installierte Raumlüftungsanlage verbraucht bei der eingestellten Stufe 41 Watt. Durch permanenten Betrieb ergibt sich der Jahresstromverbrauch folgendermaßen.

Tabelle 10 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Raumlüftungsanlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

	Betriebsstunden	Zuluft	Abluft
	h	kWh	kWh
Januar	744	15,25	15,25
Februar	672	13,78	13,78
März	744	15,25	15,25
April	720	14,76	14,76
Mai	744	15,25	15,25
Juni	720	14,76	14,76
Juli	744	15,25	15,25
August	744	15,25	15,25
September	720	14,76	14,76
Oktober	744	15,25	15,25
November	720	14,76	14,76
Dezember	744	15,25	15,25
Gesamt	8760	179,58	179,58

Somit ergibt sich für den Gesamtaufwand der Lüftung ein Stromverbrauch von 359,16 kWh.

5.3.4. Aufsummierung Hilfsenergie

Die Summe, der zuvor aufgeführten Strommengen, ergibt den Jahresbedarf an elektrischer Energie für den Heizenergiebedarf. Im untersuchten Gebäude wurden separate Strommengenähler für die Aufzeichnung des Strombedarfs der Haustechnikanlage eingerichtet. Der Gesamtwert der Zähler wird im Rest dieser Arbeit als Zähler 1 aufgeführt. Dadurch lässt sich an diesem Punkt ein aussagekräftiger Vergleich mit der Berechnung ziehen.

Die Summe der berechneten Komponenten wird in folgender Tabelle kurz zusammengefasst.

Tabelle 11 - Gesamtstromverbrauch der Heiztechnikanlage (Quelle: eigene Darstellung)

	RLT	Hilfsenergie	Wärmepumpe
	kWh	kWh	kWh
Januar	30,50	73,63	1.546,82
Februar	27,55	58,52	1.105,39
März	30,50	51,47	834,54
April	29,52	18,26	148,41
Mai	30,50	12,06	18,58
Juni	29,52	11,79	17,67
Juli	30,50	13,05	14,44
August	30,50	13,32	18,27
September	29,52	9,72	47,69
Oktober	30,50	29,11	416,35
November	29,52	39,60	695,35
Dezember	30,50	60,37	1.202,01
Gesamt	359,16	390,92	6.065,52

Somit ergibt sich die Hilfsenergie zu 6.815,60 kWh.

5.3.5. Haushaltsstrom

Die in der Berechnung verwendete Strommenge für Haushaltsgeräte und Beleuchtung wurde aus Zählerdaten abgelesen. Diese Energiemenge wurde beim Eintrag von Wärme in die konditionierte Gebäudezone herangezogen und nach dem bereits gezeigten Tagesprofil auf das Jahr aufgeteilt. Da die Raumlüftungsanlage auch den Strom über den Zähler für Haushalt bezieht, wurde die berechnete Menge von der Gesamtsumme abgezogen. Die Gesamtsumme der verbrauchten Energie, welche über den Zähler für den Haushalt (Zähler 2) von März 2009 bis März 2010 ablief, betrug 3.990 kWh.

5.4. Primärenergiebedarf

Um eine relevante Aussage über die Klimabelastung durch den Verbrauch an Energie im Gebäude treffen zu können, wird diese mithilfe von Konversionsfaktoren für Primärenergie bewertet. Da die zugeführte Energie zum Gebäude ausschließlich mit elektrischem Strom erfolgt, ist die Umrechnung auf den Primärenergiebedarf in diesem Fall sehr einfach. Der Konversionsfaktor für Strom ist je nach Herkunftsland und Erzeugungsmethoden unterschiedlich. In Österreich liegt er derzeit laut OIB RL6 bei $f_{pe} = 2,62$ (Strom - Österreich Mix). Der Faktor für ausgestoßene CO₂-Emissionen für Strom beträgt $f_{CO_2} = 417$ g/kWh. Somit ergibt sich der Primärenergieverbrauch und der Ausstoß an CO₂ folgendermaßen.

Tabelle 12 - Bewertung des Endenergiebedarfs mit Konversionsfaktoren für Primärenergie sowie CO₂-Emissionen (Quelle: eigene Darstellung)

	Endenergiebedarf	Primärenergiebedarf	CO ₂ - Emission
	kWh	kWh	kg/a
Hilfsenergie	6.815,60	17.856,88	2.842,11
Haushalt	3.990,00	10.453,80	1.663,83

6 Variantenstudie

6.1. Vergleich mit dem Energieausweis nach OIB Richtlinie 6

Um die Aussagekraft der Berechnung zu testen, wurde das Gebäude mit der aktuellen Version der Energieausweisberechnung nach OIB RL6 berechnet und mit den Ergebnissen des entwickelten Stundenverfahrens verglichen. Die normativen Grundlagen für die Berechnung der Wärmepumpe und der Solaranlage wurden 2011 in der OIB RL6 ergänzt. Die Unterschiede zur verbrauchsdatenorientierten Berechnung ergeben sich durch die standardisierten Eingangsdaten.

6.1.1. Eingangsdaten

Bei der Vergleichsrechnung liegt die Innentemperatur bei 20 °C. Die verwendeten Klimadaten wurden den Messwerten nach der österreichischen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) angepasst. Für die Berechnung nach OIB wurden die Monatsmittelwerte übernommen. Die stündlichen Temperaturen für das modifizierte Stundenverfahren wurden so angepasst, dass die Mittelwerte den Messdaten gleichen.

Um später eine gezieltere Interpretation der Ergebnisse durchführen zu können, vergleichen wir die wichtigsten Eingabewerte.

Die Daten welche die Geometrie und die wärmetechnischen Eigenschaften der Gebäudehülle bestimmen, wurden ident in das Programm eingegeben. Doch bereits beim Transmissionsleitwert über außenberührte Bauteile zeigen sich erste Unterschiede. Die Ursache liegt in der separaten Berechnung der erdberührten Bauteile nach ON DIN13370 [ENI07]. Die Berechnung des österreichischen Institutes für Bauwesen richtet sich nach der ON B8110-6 [ONB10], bei welchem die erdberührten Bauteile über einen festgelegten Faktor das mitwirkende Erdreich berücksichtigen. Ein Vergleich dieser Verfahren ist bereits in Kapitel 4.2.1 aufgeführt. Die Lüftungsleitwerte hingegen decken sich sehr gut bei den verschiedenen Verfahren. Ein weiterer bedeutender Faktor für die Berechnung mit dem Stundenverfahren ist die wirksame Speichermasse. Diese wurde beim Stundenverfahren genau ermittelt. Die Berechnung nach OIB mit Auswahl Gebäudetyp "schwer" weicht vom genau berechneten Wert nur geringfügig ab.

Tabelle 13 - Vergleich der Eingangswerte für die Berechnung nach OIB (Quelle: eigene Darstellung)

	Stundenverfahren	OIB-Berechnung	
L_t	110,3	179,6	W/K
L_v	56,6	51,9	W/K
C_m	29.296,9	29.515,4	Wh/K

Die inneren Wärmegewinne unterscheiden sich auch in der Berechnung. Der Wärmeeintrag durch elektrische Geräte und Personen wird, bei der Berechnung nach OIB, mit einem flächenbezogenen Wert pro m² Bezugsfläche berechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden die inneren Lasten des OIB-Verfahrens auf den gleichen Wert wie beim Stundenverfahren angepasst.

Die Strahlungswerte werden nach dem Stundenverfahren über direkte und diffuse Horizontalstrahlung, ausgerichtet nach Breiten- und Längengrad, berechnet. Die Grundlage der Daten stellt die Strahlungsaufzeichnung der Stadt Linz dar. Diese Daten auf Monatsdaten anzupassen stellt eine größere Herausforderung dar als bei der Temperatur. Da die Aufzeichnung Daten jedoch unweit des untersuchten Gebäudes stattfand, blieben die Werte in der Berechnung enthalten. Beim Monatsbilanzverfahren werden Referenzwerte je nach Klimaregion in Österreich verwendet. Folgende Grafik zeigt die Monatswerte der Einstrahlung für eine Fassade.

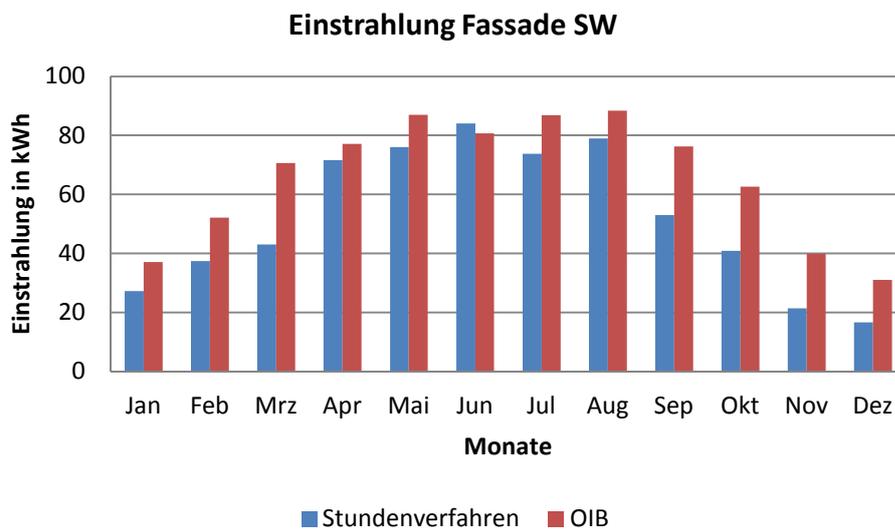


Abbildung 43 - Vergleich der Strahlungswerte für die Fassade SW nach dem Stundenverfahren und der Berechnung nach OIB (Quelle: eigene Darstellung)

Die Strahlungsleistung ist nach der stündlichen Berechnung um insgesamt 21 % geringer.

Der Warmwasserwärmebedarf wurde in der Berechnung nach OIB von 35,0 Wh/m²d auf 27,48 Wh/m²d reduziert. Dadurch wird in beiden Berechnungen derselbe Warmwasserwärmebedarf generiert. Diese Menge an Warmwasser wird aus dem Speicher gezapft und fließt unberücksichtigt von Verlusten in den Leitungen zur Abgabe. Diese Annahme wirkt sich stark auf den Wärmebedarf für Warmwasser aus, da die Verluste oft mehr als 70% der Wärmemenge des Warmwassers ausmachen. Aus verbrauchstechnischen Überlegungen, dass für vier Personen ein täglicher Warmwasserbedarf von 150 l mit einer Temperatur von 60 °C auch die Verluste beinhaltet, lässt sich diese Annahme durchaus vertreten. Auch bei der Raumheizung fließen solche Überlegungen mit ein. Die Verluste der Raumheizung werden bei konditioniertem Speicheraufstellungsort direkt in die beheizte Zone eingetragen. Eine gesonderte Berechnung der Verluste ist nach dem entwickelten Stundenverfahren nicht notwendig, da diese Verluste im stündlich berechneten Heizwärmebedarf inbegriffen sind. Somit werden für den Endenergiebedarf nur die Speicherverluste, welche auch in der Realität produziert werden müssen, zum Nutzenergiebedarf hinzugezählt. Die Aufteilung erfolgte aus vereinfachenden Gründen beim Stundenverfahren nach Anforderung an Warmwasser oder Raumheizung

6.1.2. Ergebnisse

Um den Lösungsweg der Berechnungen nachvollziehbar aufzuzeigen, werden vor dem Endergebnis noch wichtige Zwischenergebnisse aufgeführt.

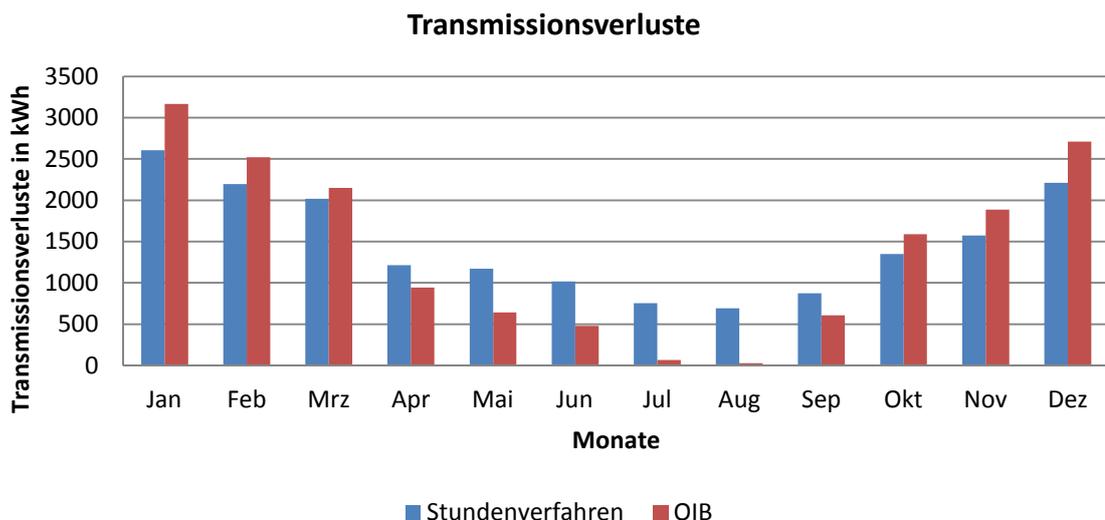


Abbildung 44 - Vergleich der Transmissionsverluste nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung)

In der vorhergehenden Grafik ist beim Stundenverfahren die Summe aus oberirdischen und erdberührten Transmissionsverlusten aufgeführt. Im Januar und Dezember entstehen in der Berechnung die ausschlaggebenden Abweichungen. Die Phasenverschiebung im Stundenverfahren ist, aufgrund der Aufsummierung, nur schwer erkennbar. Die vermehrten Verluste im Sommer beruhen auf der erhöhten Innentemperatur beim Stundenverfahren. Daher sind die Jahressummen der Werte für den Heizwärmebedarf irrelevant.

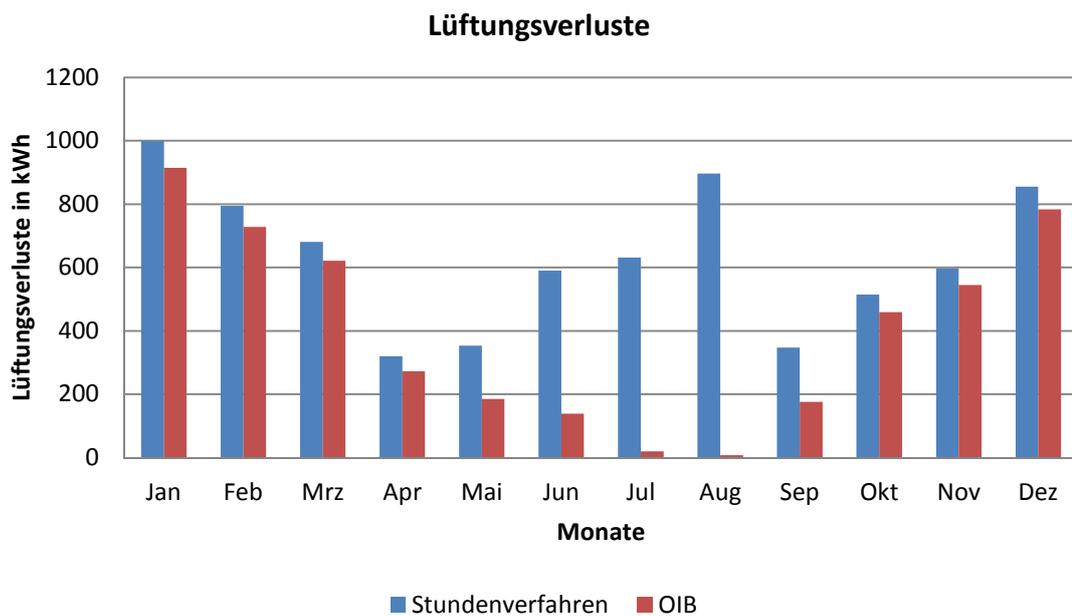


Abbildung 45 - Vergleich der Lüftungsverluste nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung)

In der Abbildung der Lüftungsverluste lassen sich wieder deutlich die Eigenheiten des Stundenverfahrens im Sommer erkennen. Aufgrund der unterschiedlichen Leitwerte sind auch hier Abweichungen zu erkennen. Grundsätzlich ist die Annahme der Dichtheit von Gebäuden ohne vorhandene Messdaten eine bestimmte Unsicherheit in der Berechnung. Daher wurde beim berechneten Gebäude nachträglich ein Blower-Door Test durchgeführt. Die sich daraus ergebende n_{50} -Wert von 1,42 liegt knapp unter dem, in der ÖNORM B8110-6 [ONB10] angegebenen, Defaultwert von $n_{50} = 1,50$.

Schließlich werden noch die Gewinne aus solarer Einstrahlung sowie internen Lasten verglichen.

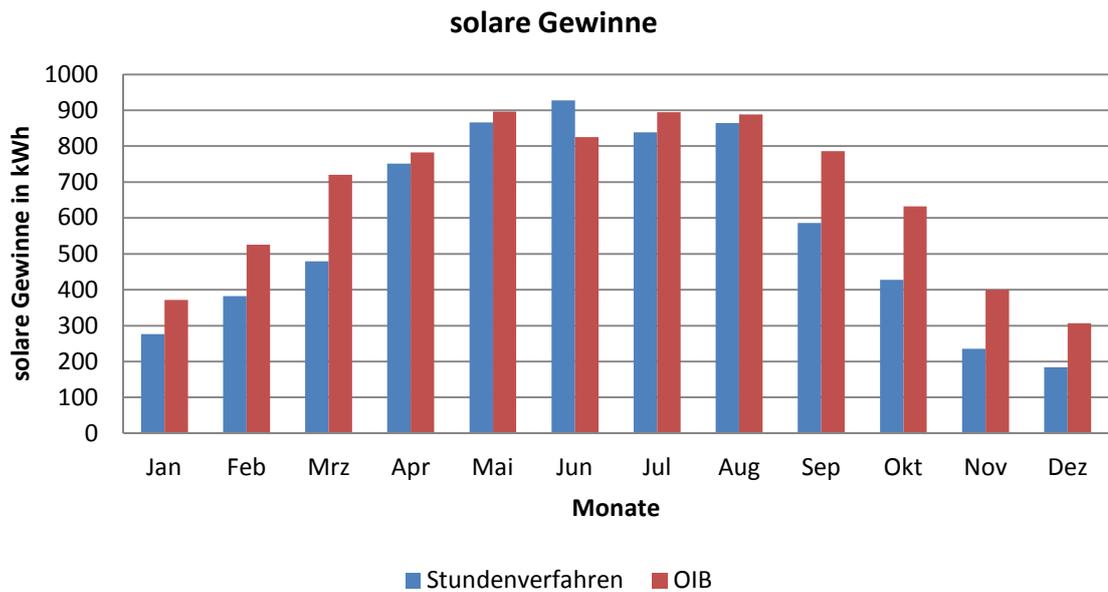


Abbildung 46 - Vergleich der solaren Gewinne nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung)

Hier ist deutlich zu erkennen, dass beim Stundenverfahren weniger solare Einstrahlung ins Gebäude gelangt. Dieser Umstand beruht auf unterschiedlichen Einstrahlungswerten, wie im Vergleich der Eingangsdaten gezeigt wurde. Im Gegensatz zum Monatsverfahren wurde beim Stundenverfahren die genaue Ausrichtung des Gebäudes zum Horizont, sowie die Verschattung berücksichtigt. Gesamt ergibt sich eine Differenz von 1.211 kWh Wärmeeintrag über das Jahr. Das entspricht einer Abweichung von 15 %.

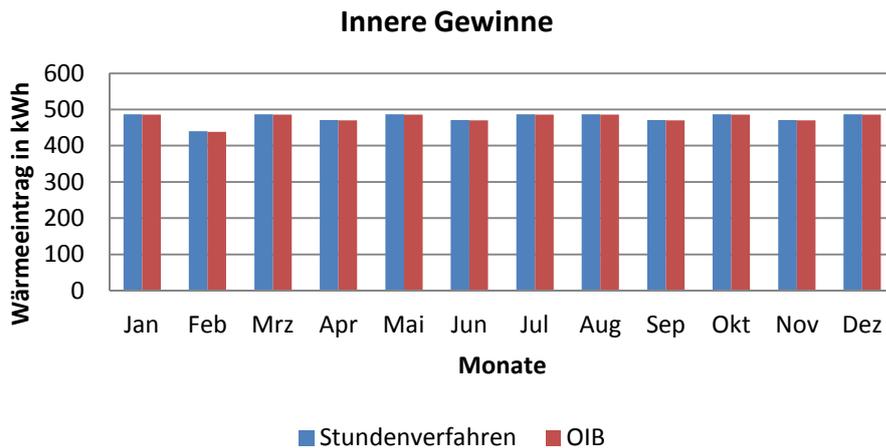


Abbildung 47 - Vergleich der Inneren Gewinne nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung)

Auch bei den inneren Gewinnen zeigen sich deutliche Unterschiede. Zum einen ist dies im höheren Stromverbrauch, zum anderen in der unterschiedlichen Definition des Wärmeeintrags durch Personen begründet.

Die nachfolgende Grafik zeigt den Nutzenergiebedarf nach dem Energieausweis-Berechnungstool des österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) im Vergleich mit dem Stundenverfahren.

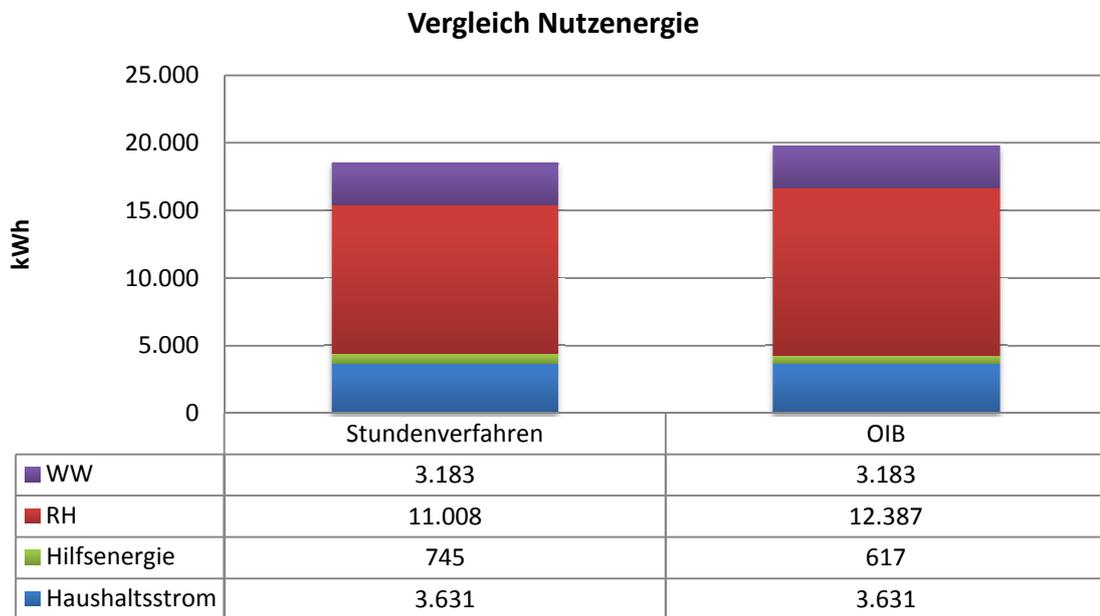


Abbildung 48 - Vergleich der Ergebnisse für den jährlichen Nutzenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)

Das Ergebnis der Stundenberechnung liegt sehr nahe bei dem, des Energieausweises. Wie in den vorhergehenden Grafiken gezeigt, weichen jedoch die Zwischenergebnisse der Berechnung deutlich voneinander ab. Allgemein wird bei der Berechnung nach dem Stundenverfahren weniger Wärme an die Umwelt abgegeben und weniger Wärmegewinne in die konditionierte Zone eingetragen.

Der Vergleich bei der geforderten Menge an Strom im Bereich der Hilfsenergie zeigt auch ähnliche Ergebnisse. Der Haushaltsstrom beim Stundenverfahren stammt aus den Ablesedaten des Stromzählers. Dieser Verbrauch wurde im Verfahren des OIB eingegeben. Als weiteres Ergebnis wird der Endenergiebedarf verglichen. Der Endenergiebedarf beinhaltet die auftretenden Verluste bei der Wärmebereitstellung. Die Hilfsenergie und der Haushaltsstromverbrauch bleiben unverändert.

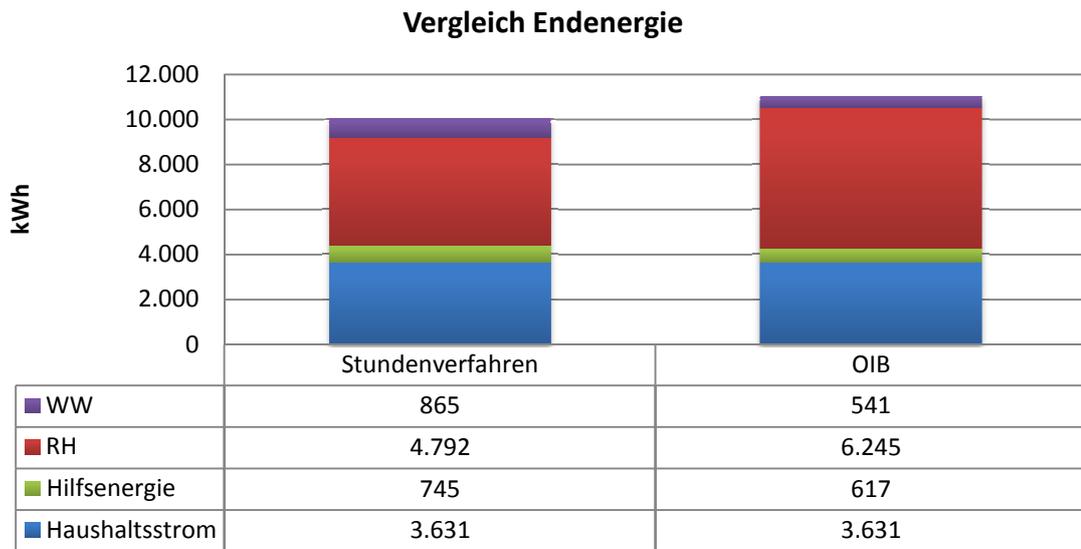


Abbildung 49 - Vergleich der Ergebnisse für den jährlichen Endenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)

Die einzelnen Bereiche der Endenergie enthalten die Verluste welche im jeweiligen Teil auftreten. Dieses Ergebnis zeigt den gesamten Stromverbrauch in den jeweiligen Bereichen. Die folgenden Grafiken vergleichen die Leistung der solarthermischen Anlage.

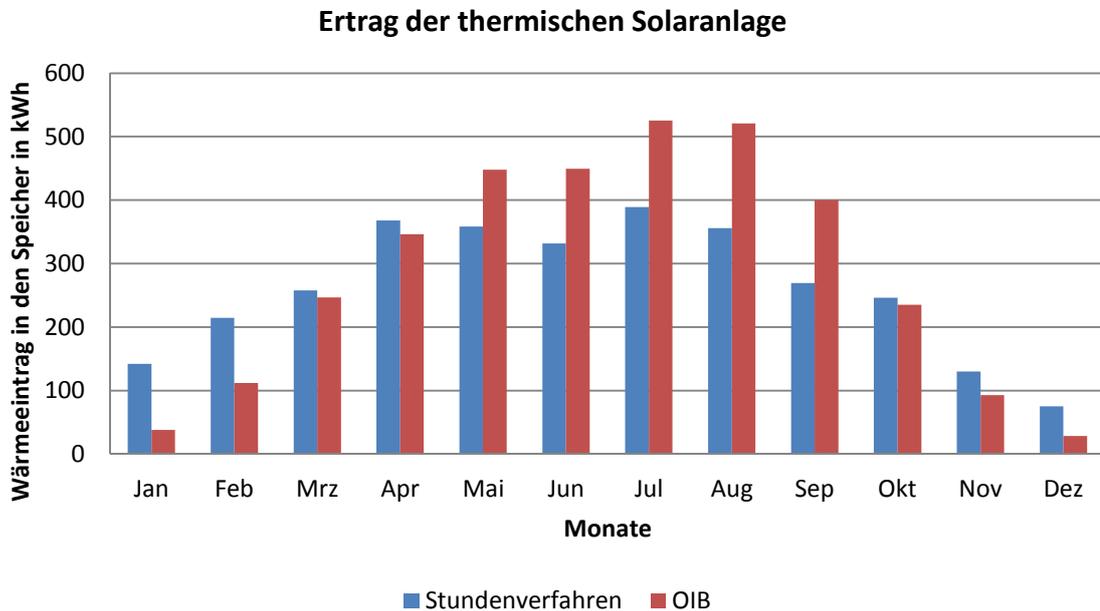


Abbildung 50 - Vergleich der Einträge der thermischen Solaranlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Das Stundenverfahren generiert im Winter mehr Ertrag während im Sommer die Erträge deutlich unter der OIB-Berechnung liegen. Die Gesamtsummen der Einträge liegen aufgrund dieses Wechsels sehr nahe beieinander.

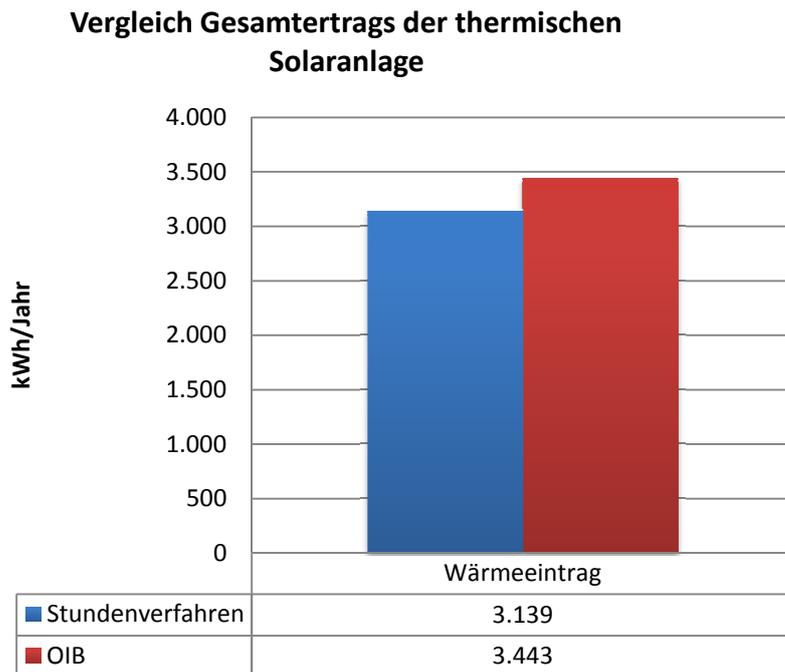


Abbildung 51 - Vergleich des Gesamtertrags der thermischen Solaranlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Diese Aufstellung der Wärmeeinträge der thermischen Solaranlage ist unter Berücksichtigung der abweichenden Strahlungswerte zu betrachten.

Die Berechnung der Wärmepumpe wird im Berechnungstool der OIB nach dem in [ONH10] beschriebenen Verfahren mit der Häufigkeit von auftretenden Außentemperaturen bei Heizbetrieb berechnet und liefert eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 2,40 bei Kombination von Warmwasser und Raumheizung. Die Berechnung nach der entwickelten Stundenmethode liefert eine JAZ von 2,17. Die JAZ ist als das Verhältnis von erzeugter Wärmemenge zur dafür erforderlichen Strommenge definiert. Mit der zuvor ermittelten benötigten Wärmemenge und der JAZ lässt sich somit der Strombedarf der Wärmepumpe berechnen.

Folgende Grafik vergleicht den Stromverbrauch der Wärmepumpe bei den unterschiedlichen Berechnungsverfahren.

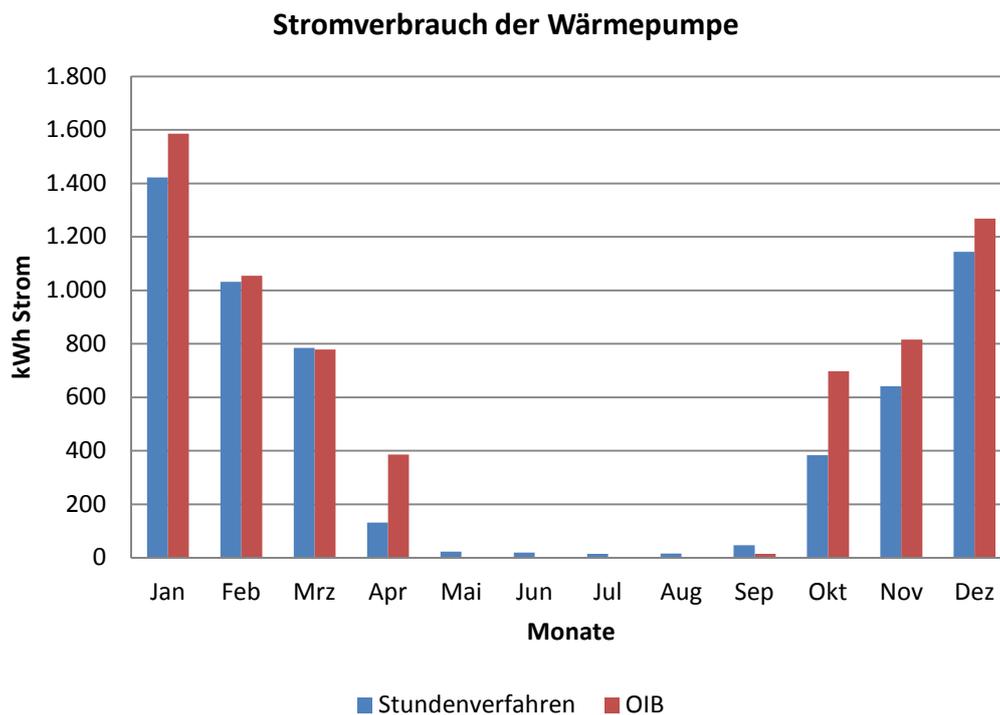


Abbildung 52 - Vergleich des berechneten Stromverbrauchs der Wärmepumpe über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)

Die Berechnung der Wärmepumpe erfolgte mit einer Senktemperatur von 40 °C für Raumheizung und 60 °C für Warmwasser. Der zwischengeschaltete Speicher verändert das Ergebnis des Stundenverfahrens. So muss die Wärmepumpe auch im Sommer geringe Leistungen an den Speicher abgeben um die geforderte Temperatur im Speicher zu erhalten. Bei der Berechnung nach OIB deckt die thermische Solaranlage in den Sommermonaten den Gesamtbedarf an Warmwasser. Dabei ist zu beachten, dass die Solaranlage nach dem Stundenverfahren in den Wintermonaten deutlich mehr Wärme in den Speicher einbringt. Umgekehrt liefert sie im Sommer weniger Wärme in den Speicher als bei der Berechnung nach OIB. Durch gegenseitige Beeinflussung dieser beiden Installationen sollten die Ergebnisse gemeinsam betrachtet werden. Gesamt ergibt sich eine Verbrauchsdifferenz von 944 kWh Strom bei den Berechnungen.

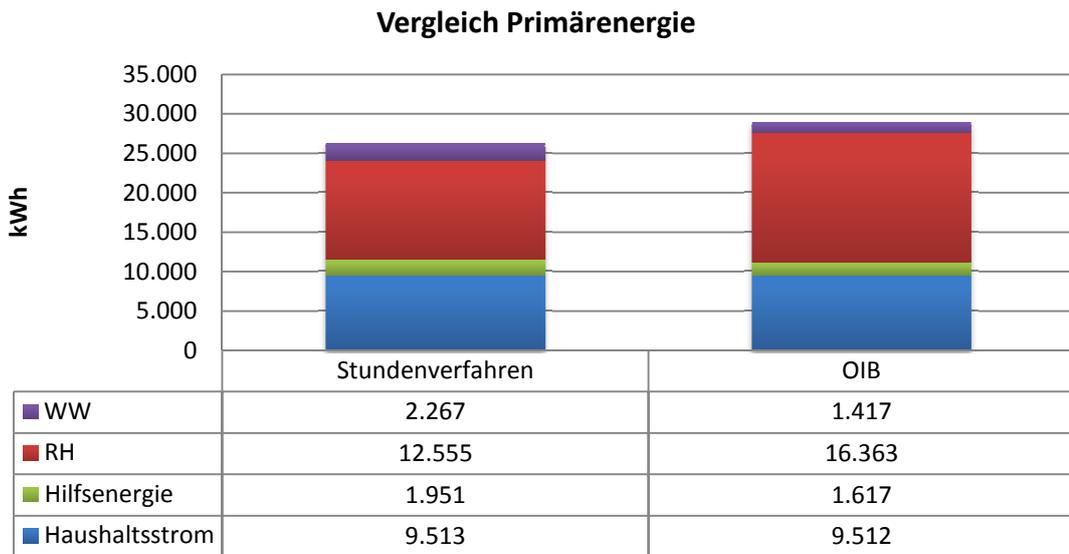


Abbildung 53 - Vergleich der Ergebnisse für den jährlichen Primärenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)

Die vorhergehenden Abbildungen vergleichen die Ergebnisse für den Primärenergiebedarf der beiden Verfahren. Die Summe der bewerteten Energie durch die Konversionsfaktoren beträgt beim Stundenverfahren 26.285 kWh und nach der OIB-Berechnung 31.287 kWh.

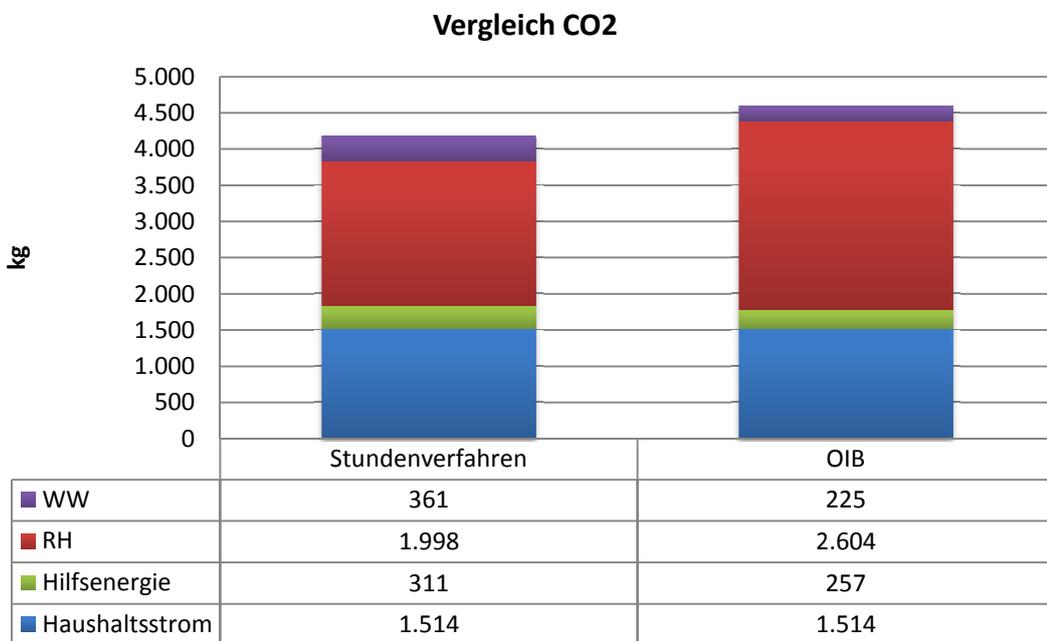


Abbildung 54 - Vergleich der Ergebnisse der jährlichen CO₂-Emissionen (Quelle: eigene Darstellung)

6.2. Vergleich mit Verbrauchsdaten 2009

Aus der Befragung der Bewohner des Gebäudes wurden die Eingangsdaten verfeinert. Somit ergibt sich die durchschnittliche Innentemperatur zu 20,63 °C. Die Klimadaten wurden wie in den vorherigen Berechnungen an die Messwerte der ZAMG für das Jahr 2009 angepasst. Anschließend wird das Ergebnis mit den Ablesedaten des Stromzählers verglichen.

Die monatlichen Mittelwerte der Außentemperatur lagen bei:

Tabelle 14 - monatliche Mittelwerte der Außentemperatur nach ZAMG 2009 für Ried i. Innkreis (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11])

	Ried i. Innkreis
	ZAMG 2009
	°C
Januar	-3,7
Februar	-0,9
März	3,9
April	12,7
Mai	15,2
Juni	16,3
Juli	19,5
August	19,8
September	15,3
Oktober	8,1
November	5,4
Dezember	-0,3

Die Jahresmitteltemperatur lag bei 9,3 °C.

Folgende Tabelle zeigt die Wärmebilanz der technischen Gebäudeausrüstung.

Tabelle 15 - Wärmebilanz der technischen Gebäudeausrüstung in kWh (2009) (Quelle: eigene Darstellung)

	Bilanz in kWh	
	Wärmeeintrag	Wärmeausgabe
Solaranlage	3.127	-
Wärmepumpe	13.073	-
Wärme Raumheizung	-	11.909
Wärme Warmwasser	-	3.183
Verluste Speicher	-	1.039
Gesamt	16.200	16.132

Die geforderte Wärmemenge, welche von der Wärmepumpe bereitzustellen ist liegt bei 13.073 kWh. Diese Wärmemenge sichert die erforderlichen Temperaturen für Raumheizung und Warmwasser im Speicher.

Die Berechnung des Strombedarfs liefert folgende Ergebnisse:

Tabelle 16 - Strombedarf nach der stündlichen Berechnung für das Jahr 2009 (Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus der Berechnung mit Microsoft Excel und Zählerablesung im Gebäude)

	Zähler 1 (kWh)	Zähler 2 (kWh)
Haushaltsstrom	-	3631
Hilfsenergie	399	-
Raumlüftungsanlage	-	359
Wärmepumpe	6.001	-
Gesamt	6.400	3.990

Wie bereits bei der Beschreibung der Wärmepumpenberechnung erwähnt, wird die bereitgestellte Wärmemenge nach dem stündlichen Bedarf auf Raumheizung und Warmwasser aufgeteilt und somit die Leistungsaufnahme berechnet. Gesamt ergibt sich ein Jahresstrombedarf der Wärmepumpe von 6.001 kWh. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ergibt sich aus der Anforderung und dem Verbrauch an elektrischer Energie zu 2,18.

Der berechnete Stromverbrauch der Haustechnik im Jahr 2009 ergibt sich aus der Aufsummierung der Pumpen und der Wärmepumpe zu 6.400 kWh (Zähler 1). Die Raumlüftungsanlage bezieht die benötigte Stromleistung (359 kWh) über den Zähler für Haushaltsstrom (Zähler 2). Da der Messwert des Zählers 2 (abzüglich Strom für die Raumlüftungsanlage) als Eingangsgröße verwendet wurde, gleichen sich die Werte aus

Berechnung und Messung. Ein aussagekräftiges Ergebnis ist der tatsächliche Stromverbrauch für den Haushalt pro m² Bezugsfläche. Dieser liegt bei 14,3 kWh/m².

Der Stromverbrauch für die Haustechnikanlage betrug im Jahr 2009 bei den gesonderten Zählern (Zähler 1) 6.565 kWh. Dies entspricht einer Abweichung von 2,51 %.

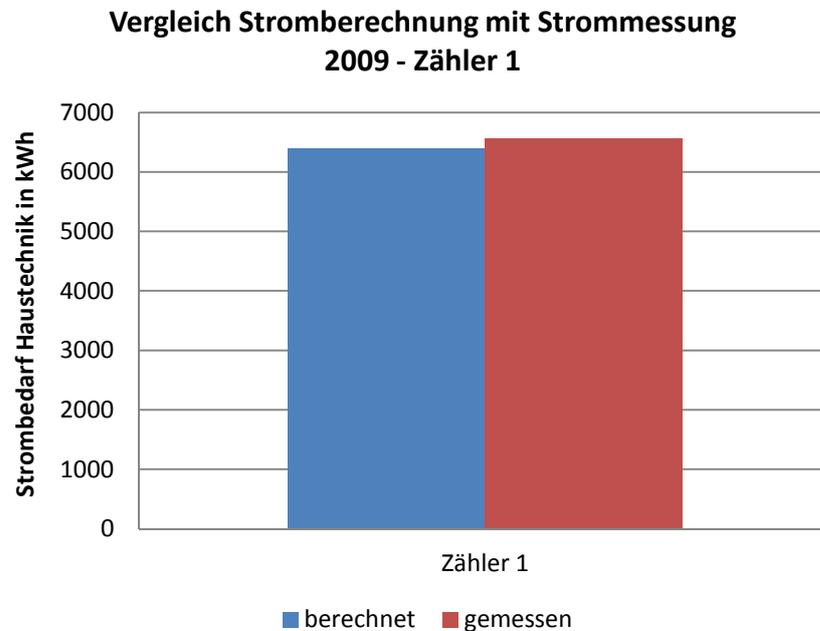


Abbildung 55 - Vergleich der Berechnung des jährlichen Strombedarfs mit erfolgter Messung für das Jahr 2009 (Quelle: eigene Darstellung)

6.3. Vergleich mit Verbrauchsdaten 2010

Die Klimadaten wurden an die Messwerte der ZAMG für das Jahr 2010 angepasst. Anschließend wird das Ergebnis mit den Ablesedaten des Stromzählers verglichen.

Die monatlichen Mittelwerte der Außentemperatur lagen bei:

Tabelle 17 - monatliche Mittelwerte der Außentemperatur nach ZAMG 2010 für Ried i. Innkreis (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11])

	Ried i. Innkreis
	ZAMG 2010
	°C
Januar	-3,2
Februar	-1
März	3,8
April	9,4
Mai	12,8
Juni	17,5
Juli	20,8
August	17,7
September	12,4
Oktober	7,3
November	4,8
Dezember	-3,6

Die Klimadaten zeigen ähnliche Temperaturen wie das Jahr 2009 im Jahresbeginn. Im Juli lag die Temperatur deutlich über der des Vorjahres. Allgemein war das Jahr 2010 jedoch kühler. Die Jahresmitteltemperatur betrug, im Vergleich mit dem Jahr 2009 (9,3 °C), nur 8,2 °C. Die Bilanz der Wärmeeinträge des Speichers und der Gebäudezone ist in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 18 - Bilanz der Wärmemengen auf Ebene der technischen Gebäudeausrüstung in kWh (2010) (Quelle: eigene Darstellung)

	Bilanz in kWh	
	Wärmeeintrag	Wärmeausgabe
Solaranlage	3.194	-
Wärmepumpe	14.887	-
Wärme Raumheizung	-	13.774
Wärme Warmwasser	-	3.183
Verluste Speicher	-	1.010
Gesamt	18.081	17.967

Die von der Wärmepumpe aufzubringende Wärmemenge liegt in diesem Berechnungsjahr bei 14.887 kWh.

Die Berechnung des Strombedarfs liefert folgende Ergebnisse:

Tabelle 19 - Strombedarf nach der stündlichen Berechnung für das Jahr 2010 (Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus der Berechnung und Zählerablesung im Gebäude)

	Zähler 1 (kWh)	Zähler 2 (kWh)
Haushaltsstrom	-	3.362
Hilfsenergie	443	-
Raumlüftungsanlage	-	359
Wärmepumpe	6.870	-
Gesamt	7.313	3.721

Die Jahresarbeitszahl für die Wärmepumpe beträgt in diesem Jahr 2,17.

Da der Haushaltsstrom in der Berechnung als Eingabe verwendet wurde, erübrigt sich der Vergleich für diesen Punkt. Der gesamte Stromverbrauch für die Haustechnikanlage betrug im Jahr 2009 bei den gesonderten Zählern (Zähler1) 7.083 kWh. Dies entspricht einer Abweichung von 3,14 %.

**Vergleich Stromberechnung mit Strommessung
2010 - Zähler1**

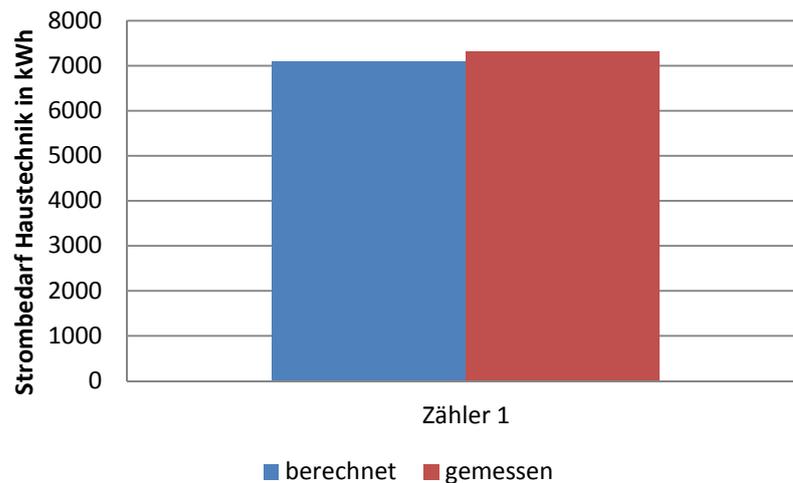


Abbildung 56 - Vergleich der Berechnung des jährlichen Strombedarfs mit erfolgter Messung für das Jahr 2010 (Quelle: eigene Darstellung mit berechneten Daten und Messdaten)

6.4. Vergleich mit monatlichen Verbrauchsdaten 2011

Im Jahr 2011 wurde der Stromverbrauch im Gebäude monatlich aufgezeichnet. In diesem Kapitel werden die Verbrauchsdaten der Monate von April bis Oktober mit der Berechnung verglichen. Die mittlere monatliche Außentemperatur nach ZAMG betrug in den Monaten Januar bis Oktober folgende Werte.

Tabelle 20 - monatliche Mittelwerte der Außentemperatur nach ZAMG 2010 für Ried i. Innkreis (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11])

	Ried i. Innkreis
	ZAMG 2011
	°C
Januar	-0,6
Februar	-0,2
März	4,9
April	11,9
Mai	14,9
Juni	17,7
Juli	17,3
August	19,4
September	14,9
Oktober	8,5

Die inneren Lasten, zufolge des Betriebs elektrischer Geräte, wurden auf die Verbrauchswerte des Zählers 2 (abzüglich des Verbrauchs der Raumluftechnik) angepasst. In der Berechnung zeigte sich dieser Eingangswert als relevant zur Erzielung guter Ergebnisse. Der pauschale Ansatz der inneren Lasten, welcher in etwa das doppelte der hier verwendeten Daten ausmacht, führt somit zu einem zu optimistischen Ergebnis.

Die Ablesedaten der Stromzähler für die Wärmepumpe und die installierten Pumpen der Haustechnikanlage werden in folgender Grafik mit den zugehörigen Berechnungsergebnissen verglichen.

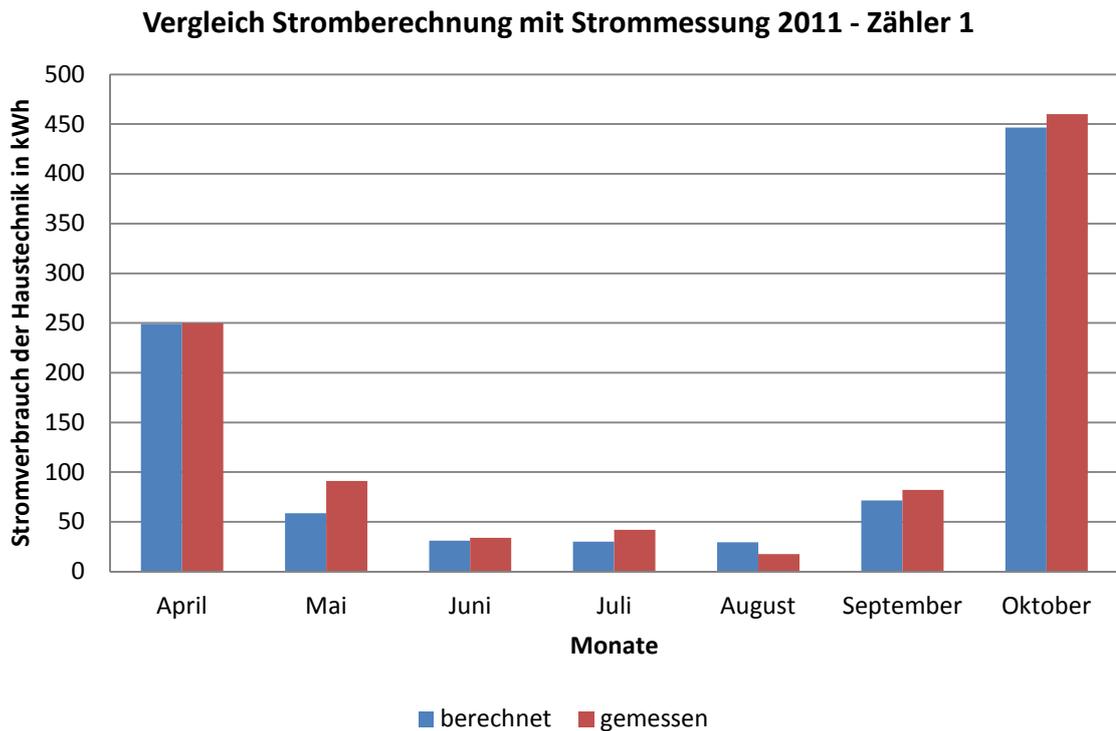


Abbildung 57 - Vergleich der monatlichen Messdaten mit der Berechnung für den Anteil der Haustechnik von April bis Oktober 2011 (Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Daten der Berechnung mit Microsoft Excel und Messwerten)

Diese Werte werden zusätzlich in einer Tabelle verglichen.

Tabelle 21 -Vergleich der berechneten mit der gemessenen Strommenge des Zählers 1 für die Monate April bis Oktober 2011 (Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus der Berechnung und Zählerablesung im Gebäude)

	Zähler 1	
	Berechnung	Strommessung
	kWh	kWh
April	249,0	249,7
Mai	58,6	91,2
Juni	31,0	34,1
Juli	30,0	42,0
August	29,6	17,5
September	71,5	82,1
Oktober	446,5	460,2
Gesamt	916,2	976,7

Die Differenz zwischen der Berechnung und der Messung der Verbrauchsdaten beträgt über diesen Zeitraum 60,5 kWh. Dies entspricht einer Abweichung von 6,2 %.

6.5. Variation des Speicheraufstellungsortes

Um Aussagen über die Energiesituation, in Bezug auf den Aufstellungsort des Speichers, treffen zu können, wird dies als eigene Variante durchgerechnet und anschließend bewertet. In dieser Variante werden Verluste an die unkonditionierte Zone abgegeben welche nicht in der Wärmebilanz für die Berechnung der Innentemperatur berücksichtigt werden können. Dadurch steigt im Heizfall der Bedarf an zusätzlich eingetragene Wärme durch die Raumheizung. Die Verluste selbst steigen durch die niedrigere Umgebungstemperatur ebenfalls an. Die Verluste der Rohrleitungen im Keller müssen aufgrund der Abgabe in den unbeheizten Raum zusätzlich erzeugt werden.

In diesem Vergleich wurden die angepassten Klimadaten des Jahres 2010 verwendet. Die Raumheizung aktiviert sich, wenn die Temperatur der konditionierten Zone unter $20,13\text{ °C}$ sinkt. Bei einem Temperaturanstieg von 1 K schaltet die Anlage wieder auf Stand-by. Während die Umgebungstemperatur des Speichers im konditionierten Fall gleich der Innenraumtemperatur ist, liegt diese im Falle des unkonditionierten Aufstellungsortes bei $12,4\text{ °C}$. Diese berechnete Jahresmitteltemperatur des Kellergeschosses findet sich in der Berechnung der Verluste über erdberührte Bauteile nach EN ISO 13370 [EN107]. Dieser Jahreswert wurde mit einer phasenverschobenen Schwankung von $\pm 2\text{ K}$ auf Monatswerte umgerechnet. Die weitere Aufteilung der Temperatur auf Stundenwerte erschien nicht als sinnvoll.

Die Berechnung der Verluste an das Kellergeschoss wurde so konzipiert, dass die Verluste über die unterste Geschossdecke ausgegeben werden. Ist nun der Keller der konditionierten Zone zugewiesen, so treten aufgrund der gleichen Innentemperatur keine Verluste über diese Geschossdecke auf. Hingegen sind die Verluste über die erdberührten Bauteile, sowie die Bauteile des Kellergeschosses zur Außenluft vorhanden.

Bei der Berechnung des Gebäudes mit unkonditioniertem Keller treten ausschließlich die Verluste über die untere Geschossdecke auf, wobei die auftretende Differenz der Temperatur zu diesem Pufferraum die Größe bestimmt.

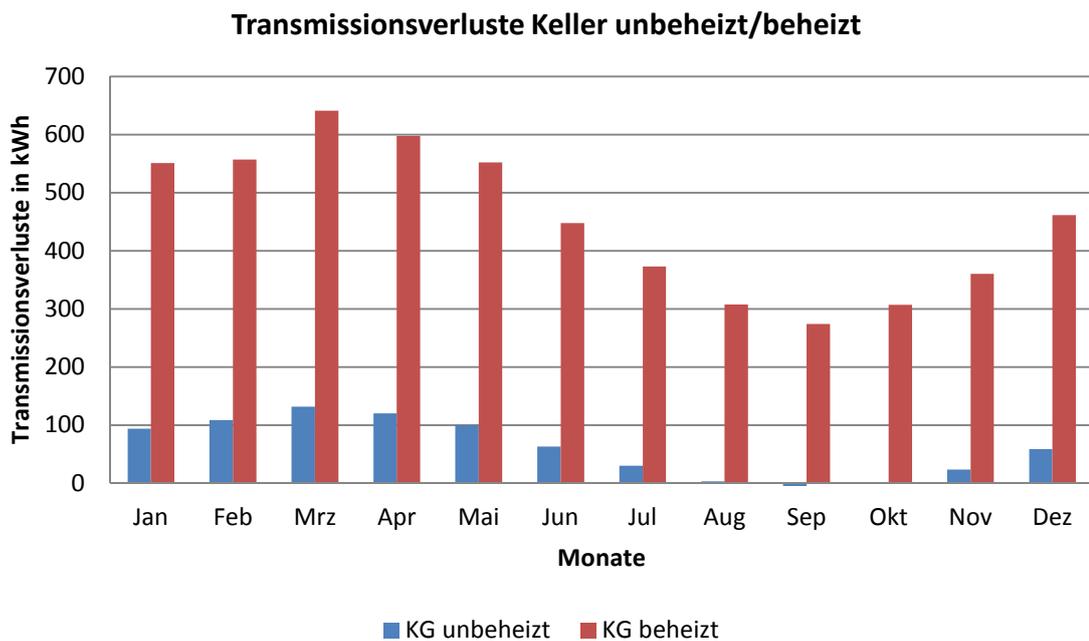


Abbildung 58 - Vergleich der Transmissionsverluste des Kellers bei der Variante "Aufstellungsort Speicher" (eigene Berechnung, basierend auf EN DIN 13370 [ENI07])

Der Vergleich bezüglich des Aufstellungsortes des Warmwasserspeichers zieht als Konsequenz die Beheizung des Kellergeschosses mit sich. Dadurch ändern sich die konditionierte Brutto-Grundfläche und die Verhältnisse des Wärmetransfers im Gebäude und der Gebäudeinstallationen. Die Vergleichbarkeit bleibt nur dann erhalten, wenn die Gesamtverluste des Gebäudes betrachtet werden, da bei spezifischer Betrachtung unterschiedliche Bezugsflächen herangezogen werden müssten.

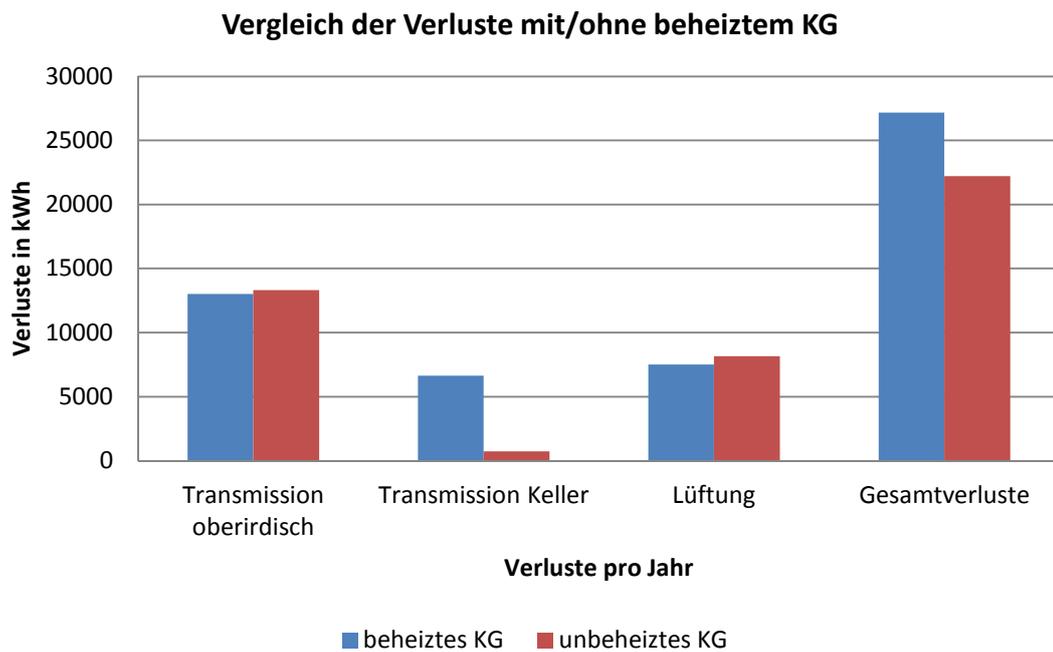


Abbildung 59 - Vergleich der Verluste der Variante "Aufstellungsort Speicher" nach dem modifizierten Stundenverfahren (Quelle: eigene Darstellung)

Bei den oberirdischen Transmissionsverlusten und bei den Lüftungsverlusten bleiben die Absolutwerte der Verluste annähernd gleich. Der zusätzliche Verlust bei unkonditioniertem Kellergeschoss erfolgt über die Kellerdecke. Gesamt wirkt sich jedoch der Anteil der Verluste des Kellers deutlich aus.

Bei den Wärmeeinträgen in die konditionierte Zone bleiben die Absolutbeträge der inneren Lasten sowie der solaren Gewinne gleich.

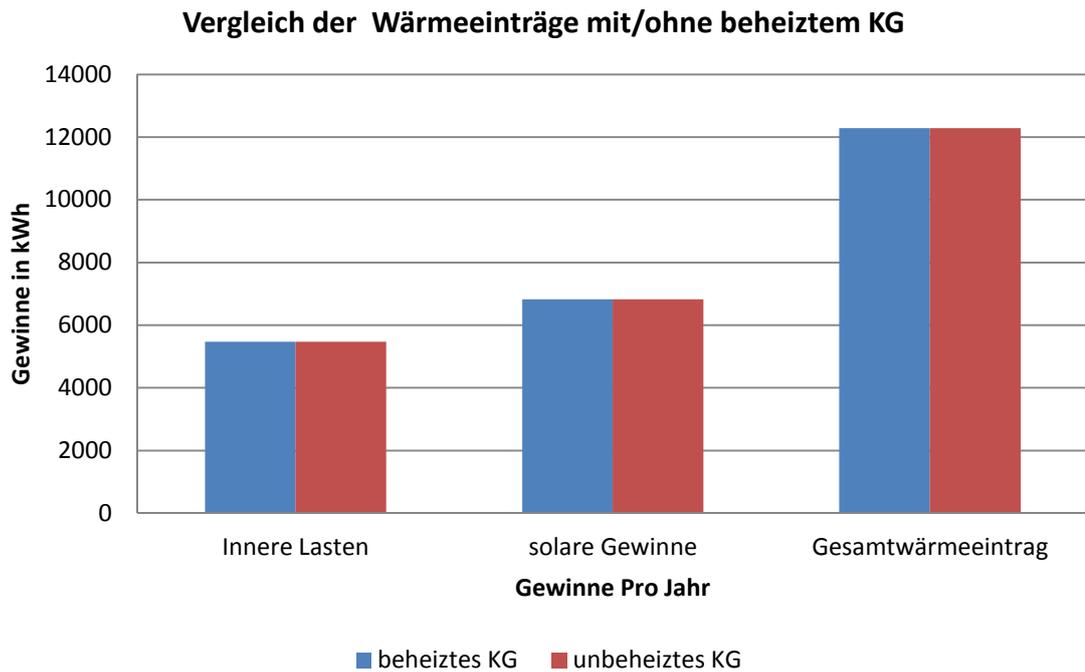


Abbildung 60 - Vergleich der Gewinne der Variante "Aufstellungsort Speicher" nach dem modifizierten Stundenverfahren (Quelle: eigene Darstellung)

Zur Vollständigkeit dieser Daten wird in folgender Grafik noch der Heizwärmebedarf gezeigt.

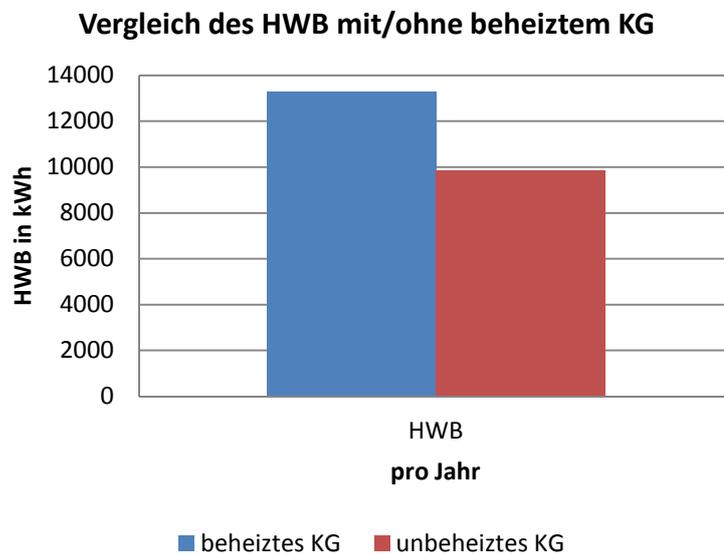


Abbildung 61 - Heizwärmebedarf des Gebäudes mit/ohne beheiztem Kellergeschoss (Quelle: eigene Darstellung)

Wie schon in den vorhergehenden Varianten und Untersuchungen gezeigt, sind auch hier die Wärmemengen auf der Ebene der technischen Gebäudeausrüstung zusammengestellt.

Tabelle 22- Bilanzierung der Wärmemengen auf Ebene der technischen Gebäudeausrüstung über ein Jahr in kWh (Quelle: eigene Darstellung)

	KG unbeheizt		KG beheizt	
	Wärmeeintrag kWh	Wärmeausgabe kWh	Wärmeeintrag kWh	Wärmeausgabe kWh
Solaranlage	3.321	-	3.183	-
Wärmepumpe	11.105	-	14.424	-
Wärme Raumheizung	-	9.825	-	13.264
Wärme Warmwasser	-	3.183	-	3.183
Verluste Speicher	-	1.414	-	1.010
Gesamt	14.425	14.423	17.607	17.457

In dieser Zusammenstellung lässt sich gut erkennen, dass die Konditionierung des Kellergeschosses mehr Wärme erfordert, als der Speicher durch die kühlere Umgebung im unbeheizten Fall verliert. Durch den vermehrten Wärmeeintrag der Wärmepumpe bei beheiztem Kellergeschoss erhöhen sich auch die Laufzeiten der installierten Pumpen. Die Zusammenstellung des errechneten Strombedarfs ist in folgender Tabelle zu finden.

Tabelle 23 - Vergleich des Stromverbrauchs der Variante "Aufstellungsort Speicher" über ein Jahr in kWh (Quelle: eigene Darstellung)

	Stromverbrauch KG unbeheizt		Stromverbrauch KG beheizt	
	gesamt	spezifisch	gesamt	spezifisch
	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Haushaltsstrom	3.362	19,86	3.362	19,86
Hilfsenergie	762	4,50	797	4,71
RH	4.281	25,29	5.703	33,69
WW	949	5,61	967	5,71
Gesamt	9.354	55,26	10.828	63,97

Durch die größere Bezugsfläche erhält das Haus mit beheiztem Keller eine bessere Bewertung, verbraucht jedoch gesamt um 1.474 kWh mehr Strom im Jahr. Abschließend werden noch der Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen der Variante dargestellt.

Der verwendete Konversionsfaktor für Strom (Österreich Mix) liegt bei 2,62.

Tabelle 24 - Vergleich des Primärenergiebedarfs der Variante "Aufstellungsort Speicher" über ein Jahr in kWh (Quelle: eigene Darstellung)

	Primärenergie KG unbeheizt		Primärenergie KG beheizt	
	gesamt	spezifisch	gesamt	spezifisch
	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Haushaltsstrom	8.808	52,03	8.808	52,03
Hilfsenergie	1.996	11,79	2.087	12,33
RH	11.217	66,26	14.943	88,27
WW	2.487	14,69	2.532	14,96
Gesamt	24.508	144,78	28.370	167,59

Um den Unterschied zwischen den Varianten noch einmal herauszuheben, wird der Vergleich über die beheizte Grundfläche gezogen. Das Verhältnis dieser von unbeheizt zu beheizt liegt bei 2/3, da eines der drei Geschosse nicht beheizt wird. Der Verbrauch für den unbeheizten Fall ist jedoch, vor allem im Bereich Raumheizung, deutlich über dieser 2/3-Marke. Da die anderen Bereiche, mit Ausnahme der Hilfsenergie, vom Nutzerverhalten bestimmt werden, gleicht sich dies bei der Gesamtbilanz wieder an. Eine bessere Vergleichbarkeit kann erzielt werden, wenn die verbrauchten Energiemengen auf die Personenanzahl bezogen wird. Dies wird indirekt bei der folgenden Aufstellung durchgeführt

Tabelle 25 - Vergleich der CO₂-Emissionen der Variante "Aufstellungsort Speicher" über ein Jahr in kg (Quelle: eigene Darstellung)

	CO ₂ -Emission KG unbeheizt		CO ₂ -Emission KG beheizt	
	gesamt	spezifisch	gesamt	spezifisch
	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Haushaltsstrom	1.402	8,28	1.402	8,28
Hilfsenergie	318	1,88	332	1,96
RH	1.785	10,55	2.378	14,05
WW	396	2,34	403	2,38
Gesamt	3.901	23,04	4.515	26,67
pro Person	975		1.129	

Der jährliche CO₂-Ausstoß pro Person im Bereich "Wohnen" erhöht sich somit bei beheiztem Keller um rund 15,8 %. Laut einer aktuellen Studie der internationalen Energieagentur [IEA11] betrug der CO₂-Ausstoß pro Kopf in Österreich im Jahr 2009 rund 7.580 kg/p.P.a. und liegt damit über dem EU-Durchschnitt von 7.150 kg/p.P.a. Grundsätzlich ist der Ausstoß von rund einer Tonne CO₂ pro Person und Jahr für den Bereich "Wohnen" ein guter Wert.

7 Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

7.1. Eingangsdaten

Die Ermittlung der Eingangsdaten für die Berechnung stellt einen außerordentlich wichtigen Punkt für die Erzielung guter Ergebnisse dar. Daher wurde großer Wert auf die ganzheitliche Erfassung der energierelevanten Abläufe des Gebäudes gelegt.

Die Gebäudehülle wurde mit den wärmetechnischen Kennwerten der Hersteller für die verwendeten Produkte modelliert. Die Aufbauten und Abmessungen lieferten die ausgefertigten Pläne vor der Errichtung des Gebäudes. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wurde mit einem "Blower-Door"-Test festgestellt..

Die durchschnittliche Innentemperatur wird flächengemittelt, nach Aussagen der Bewohner des Gebäudes, eingegeben. Auch die verhaltensabhängigen Eingangsdaten, wie die Nutzungsprofile für Warmwasser, Haushaltsstrom und die Anwesenheit der Personen, wurden möglichst realitätsnah abgebildet.

Ein weiterer Bereich der Eingabe ist die vorhandene Haustechnik. Die einzelnen Komponenten wurden nach den vorhandenen technischen Eigenschaften in den zugehörigen Datenblättern abgebildet.

Die inneren Lasten durch den Betrieb elektrischer Geräte wurden mithilfe abgelesener Zählerwerte ermittelt.

Um diesen Punkt kurz zusammenzufassen, muss erwähnt werden, dass der Aufwand zur Gewinnung von realitätsabbildenden Daten mit dem Detaillierungsgrad ansteigt. Im Hinblick auf die Erstellung des Energieausweises, welcher auch für bestehende Gebäude erforderlich ist, stellt die Ermittlung der Eingangsdaten den Hauptanteil der Arbeit dar.

7.2. Berechnung

Bei der Entwicklung der Berechnung in Microsoft Excel lag die Herausforderung darin, die Eingabe der Eingangsdaten möglichst übersichtlich zu gestalten. Dabei sollte die Möglichkeit, den Detaillierungsgrad der Berechnung selbst zu bestimmen, geschaffen werden. Während der Entwicklung der Berechnung wurden stets Vergleiche mit bereits anerkannten Verfahren parallel mitgerechnet. Dadurch wurde eine fortlaufende Kontrolle bei der Ausfertigung sichergestellt.

Größere Probleme bei der Berechnung bereiteten die Verknüpfungen der einzelnen Bereiche der Berechnung, vor allem aufgrund der dynamischen Kopplung. Durch die Implementation mehrerer Regulative in der Software wurden diese Fehlerquellen beseitigt. Durch das Auslesen der Daten aus den Tabellenblättern und der schleifenartigen, stundenmäßigen Berechnung dauert die Gesamtberechnung mit vorhandenen Eingangsdaten rund 5 Minuten, bei einem durchschnittlichen Rechner.

7.3. Fehlerquellen

In der Berechnung des Energiebedarfs finden sich zwei Bereiche, welche nicht in ihrer Gesamtheit Eingang finden.

7.3.1. Klimadaten

Wie bereits erwähnt wurden zum Vergleich der Verbrauchsdaten mit der Berechnung die monatlichen Messwerte der ZAMG auf die stundenbezogenen Werte angepasst. Dabei standen jedoch nur die monatlichen Außentemperaturen des nahe gelegenen Ortes Ried im Innkreis zur Verfügung. Somit tritt, durch die örtliche Abweichung, eine Abweichung vom tatsächlichen Klima auf.

Zusätzlich sind die, in der Berechnung verwendeten, stündlichen Einstrahlungsdaten nicht standortbezogen, sondern wurden vom nächst verfügbaren Ort übernommen. In der Berechnung ist dies die Stadt Linz. Vor allem im Herbst kommt es in den tiefer gelegenen Bereichen nahe der Donau zu vermehrter Nebelbildung. Ob der tatsächliche Standort von länger andauernden Hochnebelperioden betroffen ist, ist nicht bekannt.

7.3.2. Nutzerverhalten

Der zweite Bereich, welcher unsichere Daten in die Berechnung einbringt, ist das Verhalten der Bewohner des Gebäudes. Obwohl die Berechnung im Stundenverfahren gewisse Profile über das Verhalten der Nutzer einbezieht, weichen diese von der Realität ab. Vor allem die Nutzung des von der thermischen Solaranlage zur Verfügung gestellten Warmwasserdargebotes beeinflusst den zusätzlichen Energiebedarf bedeutend.

Optimierungsmöglichkeiten sind hier sehr einfach zu veranschlagen. So sollte bei einem Überschuss an Warmwasser im Speicher, der Betrieb von Waschmaschine oder Geschirrspüler bevorzugt werden. Vor allem der Warmwasserverbrauch in den Morgenstunden kann nicht durch die Solaranlage bewerkstelligt werden und muss mit zusätzlicher Energie erzeugt werden.

Nicht nur die Entnahmezeit, sondern auch die Menge des verwendeten Warmwassers variiert von Haushalt zu Haushalt.

7.4. Annahmen

Um die Berechnung durchführen zu können, wurden mehrere Annahmen getroffen.

In der Modellierung der Wärmeabgabe an den Raum wurde die Beschränkung des Wärmeeintrages durch die Heizlast eingeführt. Zusätzlich wurde im Simulationsprogramm angenommen, dass die Rücklauftemperatur im Heizungssystem 2 K über der vorhandenen Raumtemperatur liegt.

Die Anforderung des Speichers an die Wärmepumpe wird in der Wärmemenge und nicht in der benötigten Wassermenge mit zugehöriger Temperatur ausgegeben. Die Ermittlung der elektrischen Leistung der Wärmepumpe erfolgt daher über eine bedarfsgesteuerte Aufteilung in je einen Wärmeanteil für die Raumheizung und Warmwassererzeugung.

Die benötigte Wärmemenge für Warmwasser wird als Wärmemenge an der Speicherentnahme angenommen. Verluste treten in der Verteilung zwar auf, müssen jedoch nicht extra erzeugt werden.

Der Haushaltsstrom wurde ausgelesen und als Eingangswert für die Ermittlung der inneren Lasten durch elektrische Geräte verwendet. Im Vergleich zur Berechnung nach [ONB10] ergibt sich ein geringerer Wert pro m²-Bezugsfläche.

Für den Fall Nachlüften wurde eine Luftwechselzahl von $n = 1,5$ [1/h] angenommen und die Wärmerückgewinnung umgangen. Dieser zusätzliche Luftwechsel wird durch nächtliches Fensteröffnen erzielt und verursacht keinen Energiemehraufwand. Über diese Annahme wird die Grenztemperatur für Kühlen von 28°C zu keinem Zeitpunkt im Jahr erreicht. Setzt man diese Temperatur niedriger so berechnet das Programm den Kühlbedarf des Gebäudes, welcher analog zum Heizbedarf in der Berechnung der Innentemperatur Eingang findet.

7.5. Ergebnisse

Das entwickelte Verfahren liefert qualitativ gute Ergebnisse, welche sehr nahe bei den durchgeführten Strommessungen liegen. Die Abweichungen bei den Vergleichen über ein Jahr liegen im Jahr 2009 bei rund 2,5 % und im Jahr 2010 bei 3,1 %. Auch die monatlichen Berechnungen liefern Werte sehr nahe bei den Messungen.

Die Ergebnisse der Berechnung überzeugen, da sie bei gleichen Eingangsdaten dem Monatsverfahren gleichen oder nur gering abweichen. Bei gewissen Teilergebnissen sind die Abweichungen durch eine genauere Erfassung der Umgebungsbedingungen deutlich zu erkennen. Dabei muss auf die berechnete Innentemperatur, sowie die genauere Wärmebilanz zur Berechnung eben dieser erwähnt werden.

7.6. Schlussfolgerungen

Die stundenmäßige Ermittlung des Energiebedarfs von Gebäuden liefert gute Ergebnisse. Die Genauigkeit dieser Ergebnisse lässt sich mit dem Detailierungsgrad in der Eingabe regeln. Durch die dynamische Berechnung des Heizwärmebedarfs wird die Haustechnikanlage realitätsnah, über die Innentemperatur geregelt und mit den Verbrauchswerten der Hersteller stündlich berechnet. Unkontrollierte Verluste werden für den Fall, dass sie in der konditionierten Zone auftreten, in der aktuellen Berechnung der Innentemperatur berücksichtigt.

Das Konzept der Berechnung beruht auf bekannten Formeln in der Bauphysik und liefert daher nachvollziehbare Gesamt- und Teilergebnisse. Die stundenmäßige Berechnung bedarf nur einen geringen Mehraufwand, lässt aber in den Ergebnissen detaillierte Interpretationen zu.

Für die standardmäßige Berechnung von Häusern, zur Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs, ist diese Berechnung empfehlenswert, wie der Vergleich mit den Messwerten zeigt. Der Stromverbrauch dieses Gebäudes ist ein aussagekräftiger Wert, da er mit dem Gesamtenergieverbrauch gleichgesetzt werden kann. Bei Einfamilienhäusern ist es sinnvoll diesen Wert auf die Anzahl der Bewohner zu beziehen.

Der Ausblick, auf die zukünftige Entwicklung der Bestimmung des Energieverbrauchs von Gebäuden, weist in die Richtung der genaueren Erfassung aller energierelevanten Abläufe im Gebäude. Dieses Verfahren bestätigt diesen Trend und hat vor allem im Bereich der Berechnung der Wärmepumpe eine übersichtlichere und weniger aufwändige Version des Verfahrens der [ONH10] vorgestellt.

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit, den Energiebedarf möglichst genau unter vertretbarem Aufwand zu ermitteln, konnte mit dem Resultat der Berechnung zufriedenstellend beantwortet werden.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Standort des untersuchten Gebäudes (Quelle: Google Maps 2011, Darstellung angepasst)	11
Abbildung 2 - Ansichten des untersuchen Objekts (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)	12
Abbildung 3 - Veranschaulichung des Ausnutzungsgrades der Einträge für verschiedene Zeitkonstanten gültig für das Monats-Berechnungsverfahren (Quelle: EN ISO 13790:2008 [ENI08]).....	23
Abbildung 4 - Kellergeschoss EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005).....	32
Abbildung 5 - Erdgeschoss EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005)	33
Abbildung 6 - Obergeschoss EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005).....	34
Abbildung 7 - Schnitt 1 EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005).....	35
Abbildung 8 - Schnitt 2 EFH Hohenzell (Quelle: Einreichplan EFH Leeb 2005).....	35
Abbildung 9 - Transmissionsverluste über das Kellergeschoss (eigene Darstellung, basierend auf [ENI07] und [ONB10])	38
Abbildung 10 - Schema des täglichen Wärmeeintrag durch elektrische Geräte (Quelle: eigene Darstellung und Berechnung nach Anwesenheit und Tätigkeit der Nutzer).....	40
Abbildung 11 - Schema des täglichen Wärmeeintrags durch Personen (Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Daten durch Befragung der Gebäudenutzer).....	40
Abbildung 12 - jährliche solare Wärmegewinne (Quelle: eigene Berechnung, basierend auf Stundenwerten).....	42
Abbildung 13 - stündlicher Verlauf der solaren Gewinne im Monat Juni (Quelle: eigene Darstellung).....	42
Abbildung 14 - tägliche Entnahme von Warmwasser (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [HEN10]).....	44
Abbildung 15 - Anlagenschema mit Schichtspeicher, Sonnenkollektor, Wärmepumpe und Fußbodenheizung (Quelle: eigene Darstellung)	45

Abbildung 16 - Wärmeverluste über ein Jahr nach dem Monatsbilanzverfahren (Quelle: eigene Darstellung)	51
Abbildung 17 - Wärmegewinne über ein Jahr nach dem Monatsbilanzverfahren (Quelle: eigene Darstellung)	51
Abbildung 18 - Heizwärmebedarf nach dem Monatsbilanzverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	52
Abbildung 19 - Transmissionsverluste nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	53
Abbildung 20 - Lüftungsverluste nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	53
Abbildung 21 - monatliche Werte der Wärmeverluste nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	54
Abbildung 22 - solare Gewinne nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	55
Abbildung 23 - monatliche Werte der Wärmegewinne nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	55
Abbildung 24 - Wärmeeintrag durch Heizen nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	56
Abbildung 25 - monatliche Werte des Heizwärmebedarfs nach dem vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	57
Abbildung 26 - Werte der aktuellen Innentemperatur beim vereinfachten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	57
Abbildung 27 - Transmissionsverluste nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	59
Abbildung 28 - Lüftungsverluste nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	59

Abbildung 29 - monatliche Werte der Wärmeverluste nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	60
Abbildung 30 - monatliche Werte der Wärmegewinne nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	60
Abbildung 31 - Wärmeeintrag durch Heizen nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	61
Abbildung 32 - monatliche Werte des Heizwärmebedarfs nach dem modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	62
Abbildung 33 - Verlauf der Innentemperatur beim modifizierten Stundenverfahren über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	62
Abbildung 34 - Vergleich der Transmissionsverluste nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)	63
Abbildung 35 - Vergleich der Lüftungsverluste der verschiedenen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung).....	64
Abbildung 36 - Vergleich des HWB nach den verschiedenen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung).....	65
Abbildung 37 - Schema der Speicherberechnung (eigene Darstellung, basierend auf der entwickelten Berechnungsmethode).....	67
Abbildung 38 - Wärmeeintrag der thermischen Solaranlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	68
Abbildung 39 - monatliche Summenwerte des Wärmeeintrags für Raumheizung im Vergleich zum Wärmeeintrag in den Speicher (Quelle: eigene Darstellung).....	69
Abbildung 40 - monatliche Verluste aus Raumheizung, Warmwasser und Wärmespeicherung (Quelle: eigene Darstellung)	71
Abbildung 41 - stündlicher Bedarf an Wärme durch aktives Wärmebereitstellungssystem über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	72

Abbildung 42 - monatliche Summenwerte des Bedarfs an zugeführter Wärme im Kessel über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	72
Abbildung 43 - Vergleich der Strahlungswerte für die Fassade SW nach dem Stundenverfahren und der Berechnung nach OIB (Quelle: eigene Darstellung)	80
Abbildung 44 - Vergleich der Transmissionsverluste nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung).....	81
Abbildung 45 - Vergleich der Lüftungsverluste nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung).....	82
Abbildung 46 - Vergleich der solaren Gewinne nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung).....	83
Abbildung 47 - Vergleich der Inneren Gewinne nach Stundenverfahren und OIB-Berechnung (Quelle: eigene Darstellung).....	83
Abbildung 48 - Vergleich der Ergebnisse für den jährlichen Nutzenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)	84
Abbildung 49 - Vergleich der Ergebnisse für den jährlichen Endenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)	85
Abbildung 50 - Vergleich der Einträge der thermischen Solaranlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung)	85
Abbildung 51 - Vergleich des Gesamtertrags der thermischen Solaranlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	86
Abbildung 52 - Vergleich des berechneten Stromverbrauchs der Wärmepumpe über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	87
Abbildung 53 - Vergleich der Ergebnisse für den jährlichen Primärenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)	88
Abbildung 54 - Vergleich der Ergebnisse der jährlichen CO ₂ -Emissionen (Quelle: eigene Darstellung).....	88

Abbildung 55 - Vergleich der Berechnung des jährlichen Strombedarfs mit erfolgter Messung für das Jahr 2009 (Quelle: eigene Darstellung)	91
Abbildung 56 - Vergleich der Berechnung des jährlichen Strombedarfs mit erfolgter Messung für das Jahr 2010 (Quelle: eigene Darstellung mit berechneten Daten und Messdaten)	93
Abbildung 57 - Vergleich der monatlichen Messdaten mit der Berechnung für den Anteil der Haustechnik von April bis Oktober 2011 (Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Daten der Berechnung mit Microsoft Excel und Messwerten).....	95
Abbildung 58 - Vergleich der Transmissionsverluste des Kellers bei der Variante "Aufstellungsort Speicher" (eigene Berechnung, basierend auf EN DIN 13370 [ENI07]) .	97
Abbildung 59 - Vergleich der Verluste der Variante "Aufstellungsort Speicher" nach dem modifizierten Stundenverfahren (Quelle: eigene Darstellung).....	98
Abbildung 60 - Vergleich der Gewinne der Variante "Aufstellungsort Speicher" nach dem modifizierten Stundenverfahren (Quelle: eigene Darstellung).....	99
Abbildung 61 - Heizwärmebedarf des Gebäudes mit/ohne beheiztem Kellergeschoss (Quelle: eigene Darstellung).....	99

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Bauteile mit Flächen und wärmetechnischen Kennwerten (eigene Berechnung, basierend auf Einreichplan EFH Leeb 2005).....	36
Tabelle 2 - Monatsmittelwerte der Außentemperatur (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11]).....	50
Tabelle 3 - Vergleich der Zahlenwerte der Transmissionsverluste nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung).....	64
Tabelle 4 - Vergleich der Zahlenwerte der Lüftungsverluste nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)	65
Tabelle 5 - Vergleich des Heizwärmebedarfs nach den unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Quelle: eigene Darstellung)	66
Tabelle 6 - Bilanz der Wärmemengen auf Ebene der technischen Gebäudeausrüstung in kWh (Quelle: eigene Darstellung).....	73
Tabelle 7 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Luft-Wasser-Wärmepumpe über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	74
Tabelle 8 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Solarpumpe über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	75
Tabelle 9 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Raumheizungspumpen über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	76
Tabelle 10 - Betriebsstunden und Stromverbrauch der Raumlüftungsanlage über ein Jahr (Quelle: eigene Darstellung).....	76
Tabelle 11 - Gesamtstromverbrauch der Heiztechnikanlage (Quelle: eigene Darstellung)	77
Tabelle 12 - Bewertung des Endenergiebedarfs mit Konversionsfaktoren für Primärenergie sowie CO ₂ -Emissionen (Quelle: eigene Darstellung).....	78
Tabelle 13 - Vergleich der Eingangswerte für die Berechnung nach OIB (Quelle: eigene Darstellung).....	80

Tabelle 14 - monatliche Mittelwerte der Außentemperatur nach ZAMG 2009 für Ried i. Innkreis (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11]).....	89
Tabelle 15 - Wärmebilanz der technischen Gebäudeausrüstung in kWh (2009) (Quelle: eigene Darstellung)	90
Tabelle 16 - Strombedarf nach der stündlichen Berechnung für das Jahr 2009 (Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus der Berechnung mit Microsoft Excel und Zählerablesung im Gebäude)	90
Tabelle 17 - monatliche Mittelwerte der Außentemperatur nach ZAMG 2010 für Ried i. Innkreis (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11]).....	92
Tabelle 18 - Bilanz der Wärmemengen auf Ebene der technischen Gebäudeausrüstung in kWh (2010) (Quelle: eigene Darstellung).....	92
Tabelle 19 - Strombedarf nach der stündlichen Berechnung für das Jahr 2010 (Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus der Berechnung und Zählerablesung im Gebäude)....	93
Tabelle 20 - monatliche Mittelwerte der Außentemperatur nach ZAMG 2010 für Ried i. Innkreis (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten nach [ZAM11]).....	94
Tabelle 21 -Vergleich der berechneten mit der gemessenen Strommenge des Zählers 1 für die Monate April bis Oktober 2011 (Quelle: eigene Darstellung mit Daten aus der Berechnung und Zählerablesung im Gebäude)	95
Tabelle 22- Bilanzierung der Wärmemengen auf Ebene der technischen Gebäudeausrüstung über ein Jahr in kWh (Quelle: eigene Darstellung).....	100
Tabelle 23 - Vergleich des Stromverbrauchs der Variante "Aufstellungsort Speicher" über ein Jahr in kWh (Quelle: eigene Darstellung).....	100
Tabelle 24 - Vergleich des Primärenergiebedarfs der Variante "Aufstellungsort Speicher" über ein Jahr in kWh (Quelle: eigene Darstellung)	101
Tabelle 25 - Vergleich der CO ₂ -Emissionen der Variante "Aufstellungsort Speicher" über ein Jahr in kg (Quelle: eigene Darstellung).....	101

10 Anhang

--

Energieausweis für Wohngebäude

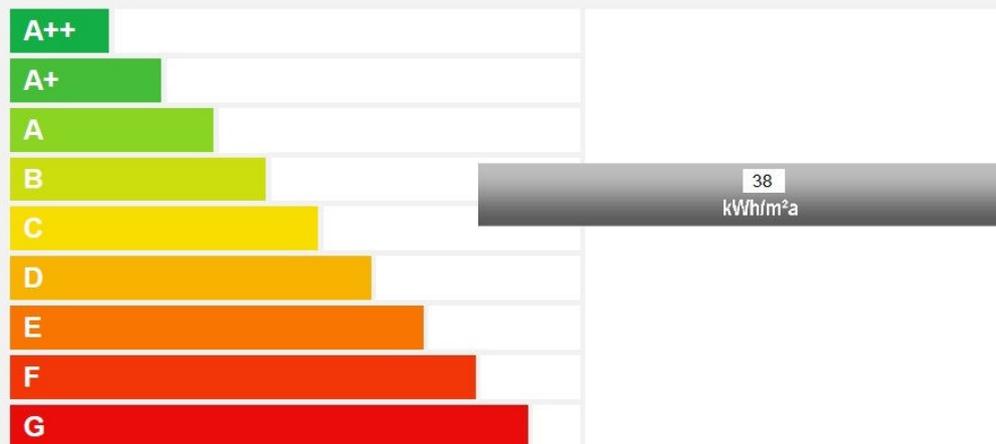
OIB

Österreichisches Institut für Bautechnik

OIB Richtlinie 6

Ausgabe: Monat 2011

BEZEICHNUNG	Einfamilienhaus Sonnberg 12		
Gebäude (-teil)	Einfamilienhaus	Baujahr	2006
Nutzungsprofil	Wohnen	Letzte Veränderung	2006
Straße	Sonnberg 12	Katastralgemeinde	
PLZ, Ort	4921	KG-Nummer	
Grundstücksnr.		Seehöhe	435



HWB: Der **Heizwärmebedarf** beschreibt jene Wärmemenge, welche den Räumen rechnerisch zur Beheizung zugeführt werden muss. Der Referenzwert bezieht sich auf einen österreichweit einheitlichen Referenzstandort.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. einem Liter Wasser je Quadratmeter BGF, welcher um ca. 30°C (also beispielsweise von 8°C auf 38°C) erwärmt wird.

HHSB: Der **Haushaltsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch in einem durchschnittlichen österreichischen Haushalt.

NEB: Der **Nutzenergiebedarf** ist die Summe aus HWB, WWWB und HHSB.

EEB: Beim **Endenergiebedarf** werden zusätzlich zum NEB die Verluste der Haustechnik im Gebäude berücksichtigt. Dazu zählen beispielsweise die Verluste des Heizkessels, der Energiebedarf von Umwälzpumpen etc. Der EEB entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss.

PEB: Der **Primärenergiebedarf** schließt die gesamte Energie für den Bedarf im Gebäude einschließlich aller Vorketten mit ein. Dieser weist einen erneuerbaren und einen nicht erneuerbaren Anteil auf. Der Ermittlungszeitraum ist 2004 - 2008.

CO₂: Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden **Kohlendioxidemissionen** einschließlich jener für Transport und Erzeugung sowie aller Verluste. Zu deren Berechnung wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

GEE: Die **Gesamtenergieeffizienz** ist der Quotient aus dem EEB und einem Referenz-EEB.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 "Energieeinsparung und Wärmeschutz" des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinien 2002/91/EG und 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG).

Energieausweis für Wohngebäude

OIB

Österreichisches Institut für Bautechnik

OIB Richtlinie 6

Ausgabe: Monat 2011

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche	317,4 m ²	Klimaregion	NF	mittlerer U-Wert	0,29 W/m ² K
Bezugs-Grundfläche	253,9 m ²	Heiztage	201 d/a	Bauweise	schwer
Brutto-Volumen	983,8 m ³	Heizgradtage	3255 Kd/a	Art der Lüftung	
Gebäude-Hüllfläche	620,8 m ²	Norm-Außentemperatur	-13 °C	Sommertauglichkeit	
Kompaktheit A/V	0,63	Soll-Innentemperatur	20 °C	LEK _T -Wert	
charakteristische Länge l _c	1,58 m				

WÄRME- und ENERGIEBEDARF

	Referenzklima		Standortklima		Anforderung	
	zonenbezogen	spezifisch	zonenbezogen	spezifisch		
HWB	12.072 kWh/a	38,0 kWh/m ² a	12.387 kWh/a	39 kWh/m ² a		
WWWB			3.183 kWh/a	10 kWh/m ² a		
HTEB _{RH}			-11.670 kWh/a	-37 kWh/m ² a		
HTEB _{WW}			-2.600 kWh/a	-8 kWh/m ² a		
HTEB			-14.270 kWh/a	-45 kWh/m ² a		
HEB			1.300 kWh/a	4 kWh/m ² a		
HHSB			3.573 kWh/a	11 kWh/m ² a		
EEB			4.873 kWh/a	15 kWh/m ² a		
PEB			11.891 kWh/a	37 kWh/m ² a		
PEB _{n.ern.}			9.758 kWh/a	31 kWh/m ² a		
PEB _{ern.}			2.133 kWh/a	7 kWh/m ² a		
CO ₂			1.893 kg/a	6 kWh/m ² a		
GEE			0,43			

ERSTELLT

GWR-Zahl	
Ausstellungsdatum	15.11.2011
Gültigkeitsdatum	15.11.2021

 ErstellerIn

 Unterschrift

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

20-AW-45,3-Ro235- Ausgabe: 16.03.2006

Herausgeber: Cooperative Leichtbeton Werbegemeinschaft GmbH, A- 1060 Wien

Systemdatenblatt **WAND**

Rohbauwanddicke in cm

20

	Firma ROMBERGER GMBH
	Ansprechpartner: Dipl. Ing. Friedrich Romberger
Adresse: Edt 35 A-4942 Gurten, OÖ	
Tel: 07757 70 30-0 Fax: 07757 7030 12	
internet: e-mail: romberger.gurten@romberger.co.at	

Brauchbarkeit:

- Gesamtdicke in cm **45,3**
- Außenwand
- Wohnungstrennwand
- Innenwand
- Erdanliegende Wand

AW	X
WW	
IW	
EW	

CL Nr: 235

MA39- VFA 2003-2204.01

mit Ausnahme des Luftschalldämmmaßes R_w



Aufbau	Innenputz	Leichtbeton	Wärmedämmung	Außenputz	Deckschicht
Dicke	1,00cm	20,00cm	23,00cm	1,00cm	0,30cm
Art	Kalk-Zementp.	LAC	EPS-Beton	Spachtel.+Deckp.	Deckputz

Wärmedurchlaßwiderstände in [m²K/W]

$R_i(D)$	0,014	1,047	5,455	0,006	
----------	-------	-------	-------	-------	--

Leichtbeton: großflächige Fertigteile
Gemenge aus Blähtonzuschlägen Fraktion 4/8, Natursand 0/4 und Zement. Nach ÖNORM EN 1520, LAC 4
Rohdichteklasse R= 0,80 unbewehrt, haufwerksporiges Gefüge



Materialspezifische Werte des Leichtbetons

Bezeichnung gemäß ÖNORM EN 1520			
LAC 4/ D 0,8			
Kennwerte gem. ÖNORM EN 1520			
Punkt	Bezeich.	Wandbildner	Einheit
Druckfestigkeitsklasse LAC 4			
4.3.3.4	f_{ck}	4,00	N/mm²
4.3.4	$f_{t,flk}$	0,83	N/mm²
4.3.6	E_{lcm}	3,70	Gpa
	D	0,80	
Trockenrohddichte ρ		720	kg/m³
Tab 11.3	$\eta_1 =$	$\eta_E =$	

Gelb gekennzeichnete Felder sind tatsächliche gemessene Werte

Materialspezifische Werte des Mauerwerks

Klasse gemäß ÖNORM B 3350 - Tab 1	
Gruppe gemäß ÖNORM B 3350 - Tab 6	
Abmessungen TxBxH in mm	mm
Steingewicht	kg
Anzahl der Steine	Stk/ m²
Flächenbezogene Masse	kg/m²
Normierte Steindruckfestigkeit gemäß ÖNORM	
EN 771-3, 3.1.21 f_b	N/mm²
Mauermörtelart:	
Mauermörtelfestigkeit $f_m >$	N/mm²

Farblsch rot angeführte Werte sind gültig. Die Angaben sind gemäß den einschlägigen Normen abgeleitet oder im Labor festgestellte Erstprüfungsergebnisse für deren Inhalt die unter "Firma" angeführte Firma verantwortlich zeichnet

Bauphysikalische Kennwerte des Leichtbetons

Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_{R,LAC} =$ 0,191 W/(mK)
	$\lambda_{R,Dämmung} =$ 0,044 W/(mK)
Diffusionswiderstandsfaktor $\mu_s =$	10

Bauphysikalische Werte der Gesamtkonstruktion

Wert	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient	
$U(k) =$ 0,15	W/(m²K)
Flächenbezogene Masse	
$m' =$ 189	kg/m²
diffusionsäquivalente Luftschichtdicke	
$\sum \mu_s \cdot d =$	m
Luftschalldämmmaß Messung TAS Bauphysik GmbH	
$R_w =$ 51 dB	(Gz03A0002P)
Speicherwirksame Masse	
$m_{w,B,A,i,24} =$ 54	kg/m²
$m_{w,B,A,a,24} =$ 10	kg/m²
wirksame Speicherkapazität	
$C_{w,B,A,i,24} =$ 41	kJ/m²K
Phasenverschiebung 24	
	h
Brennbarkeitsklasse des Leichtbetons	
	A 1 -----
Feuerwiderstand	Brandwiderstandsklasse
	F 90

11 Literatur

[DIN07] DIN EN 15316-4-3 Wärmeerzeugungssysteme, thermische Solaranlagen; Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen, Juli 2007

[ENI07] EN ISO 13370:2007, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren, Wien: April 2008

[ENI08] EN ISO 13790:2008, Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Wien: September 2008

[HEN10] Bob Hendron and Jay Burch, Tool for Generating Realistic Residential Hot Water Event Schedules, Conference Paper - SimBuild, New York: 2010

[IEA11] International Energy Agency, CO₂-Emission from Fuel Combustion Highlights, Edition 2011

[IPH11] Tagungsband: 15. Internationale Passivhaustagung (Innsbruck 27.-28.5.2011) Wolfgang Feist, Darmstadt/Innsbruck 2011

[ONB05] ÖNORM B8110-5:2010 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, Wien: 2010

[ONB10] ÖNORM B8110-6:2010 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, Wien 2010

[ONH10] ÖNORM H5056:2010 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden; Heiztechnik-Energiebedarf, Wien: 2010

[RIC10] Riccabona Christof; Bednar Thomas: Baukonstruktionslehre 4 - Bauphysik, 8.Auflage, Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH, 2010

[STA11] Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/036842.html (1.8.2011)

[STR10] Wolfgang Streicher, Sonnenenergienutzung, Skriptum TU Graz, Institut für Wärmetechnik, <http://wt.tu-graz.ac.at> (6.11.2011), Graz: 2010

[ZAM11] Zentralanstalt für Meteorologie und Geologie (ZAMG), http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/klimawerte/ (20.10.2011)