



Alexander Pitscheider

**Vergleich unterschiedlicher
Energieausweis-Berechnungsarten am Beispiel von
Bestandsgebäuden mit den realen
Verbrauchswerten**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof.i.R. DDr. Peter Kautsch
Baumeister Dipl.-Ing. Hans Hafellner, BSc

Institut für Hochbau
Lessingstraße 25/III, 8010 Graz

3. Juli 2020

Eidesstattliche Erklärung

Affidavit

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

3. Juli 2020

Datum / Date

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'RWA', with a period at the end.

Unterschrift / Signature

Ich danke:

Prof. Peter Kautsch

Hafi

Manu

Oma und Opa

Mami und Papi

Judith

Jana

Philipp

Tommy

Stefan Leitner

Konsti 🐾



Die Leute wissen wieso.

Kurzfassung

Der wachsende Anspruch an zeitgemäße Gebäude, geprägt durch stetige Entwicklung im Hochbau sowie die sich verändernden Anforderungen moderner Haushalte, spiegeln sich nicht realitätsnahe in den, zur Berechnung der Energieausweise herangezogenen, Modellen wider.

In der vorliegenden Arbeit wurde bei 23 bestehenden Gebäuden eine Bestandsanalyse durchgeführt. Basierend auf Default-Werten der Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6 (OIB6), des Handbuches für Energieberater (HfE) und dem Schichtaufbau laut Bestandsaufnahme wurden analog 69 Energieausweise erstellt. Die Ergebnisse, welche aus derzeit in der Praxis verankerten Berechnungsmodellen stammen, wurden mit den realen Verbrauchswerten der Bestandsgebäude verglichen. Die Abweichungen dieser sind aus vorangegangenen Forschungsberichten bekannt, [1] jedoch wurde die Ursache hierfür meist auf den Rebound- und Preboundeffekt reduziert, da sie in Zusammenhang des Nutzerverhaltens mit Sanierungen und Renovierung errechnet wurden. In dieser Arbeit wurden die errechneten Werte allgemein betrachtet und frei von Nullhypothesen berechnet.

Weiters wurden die Werte der Bestandsaufnahme mit festgeschriebenen Werten der oben genannten Modelle in Relation gebracht. Als Vergleichswert wurde dabei der berechnete Endenergiebedarf (EEB) aus der Computersoftware GEQ herangezogen.

In weiterer Folge wurden mögliche Verbesserungsvorschläge für die Norm und die OIB6-Richtlinie ausgearbeitet.

Diese Forschungsarbeit soll als Grundlage für eine mögliche Anpassung der Modellierung und der Berechnung der Energieverbrauchsdaten verstanden werden, um eine sowohl wirtschaftlich als auch technisch präzise energetische Bewertung eines Hauses liefern zu können.

Schlagwörter: Energieausweis, Endenergiebedarf, Handbuch für Energieberater, OIB6, energetische Gebäudeberechnung

Abstract

The rising expectations for modern buildings, influenced by constant development in building construction as well as constant changing standards for modern households, are not reflected realistically in the models for calculating the energy performance certificate. In this thesis, the status of 23 existing buildings was examined. Based on the default values of OIB guideline 6, the handbook for energy consultants and the layer construction according to the status examination, 69 analogue energy performance certificates were created. The results from the state-of-the-art calculation models were compared to the real consumption values of the buildings. The deviations of those results are known from a preceding thesis. [1] However, the source for the deviations was mostly narrowed down to rebound- and prebound-effects, because they were calculated in connection to the user conduct regarding restoration and renovation. In this thesis, the calculated values are universally examined without the use of null hypothesis. In addition, the values of the status examination were compared to the fixed values of the handbook for energy consultants and the OIB guideline 6. The calculated energy demand (EEB) from the software GEQ was used as a comparative value. Furthermore, the differences between the calculated energy consumption from the status examination, the default values from the literature and the real consumption data are compared. Possible improvements for the standard and the OIB guideline (Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6) are elaborated. This research shall be understood as a foundation for possible adjustment of the modelling and calculation of the energy performance values. This enables an economically and technically precise energetic rating of a house.

Keywords: energy performance certificate, energy demand, the handbook for energy consultants, OIB6, energetic building calculation.

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	1
2	Projektbeschreibung	2
2.1	Haustechnik	5
2.2	Projektdaten	6
2.3	Bauphysikalische Aspekte	7
2.4	Zusammenfassung	8
3	Methodik und Modellaufbau	9
3.1	Bestandsaufnahme	9
3.1.1	Fenster und Türen	10
3.1.2	Bauteile	11
3.1.3	Haustechnik	12
3.2	Gebäudekategorien und Zonierung	14
3.2.1	Wohngebäude	15
3.2.2	Zonierung	15
3.3	Modellierung und Datenerfassung in GEQ [©]	15
3.3.1	Projektdaten eingeben	16
3.3.2	Bauteileingabe [2]	18
3.3.3	Geometrie	19
3.3.4	Fenster und Türen	21
3.3.5	Haustechnik [3]	22
3.4	Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6 [4]	23
3.5	Handbuch für Energieberater [5]	24
3.6	Zusammenfassung	25
4	Berechnung	26
4.1	Objekt Nr° 1 - EFWH Großlein (BGF: 303 m ²)	28
4.2	Objekt Nr° 2 - EFWH Lieboch (BGF: 280 m ²)	37
4.3	Objekt Nr° 3 - MFWH Graz (BGF: 1106 m ²)	39
4.4	Objekt Nr° 4 - EFWH Deutschlandsberg (BGF: 279 m ²)	40
4.5	Objekt Nr° 5 - MFWH Graz (BGF: 63 m ²)	41
4.6	Objekt Nr° 6 - EFWH Graz (BGF: 148 m ²)	43

4.7	Objekt Nr° 7 - EFWH Graz (BGF: 101 m ²)	45
4.8	Objekt Nr° 8 - EFWH Eggersdorf (BGF: 232 m ²)	46
4.9	Objekt Nr° 10 - Reihenhaus Wals-Siezenheim (BGF: 127 m ²)	47
4.10	Objekt Nr° 11 - EFWH Stainz (BGF: 295 m ²)	48
4.11	Objekt Nr° 12 - MFWH Salzburg-Gnigl (BGF: 250 m ²)	49
4.12	Objekt Nr° 13 - MFWH Graz (BGF: 40 m ²)	50
4.13	Objekt Nr° 14 - EFWH Osterhofen (BGF: 438 m ²)	51
4.14	Objekt Nr° 15 - EFWH Altirdning (BGF: 349 m ²)	52
4.15	Objekt Nr° 16 - MFWH Graz (BGF: 1806 m ²)	53
4.16	Objekt Nr° 17 - MFWH Graz (BGF: 918 m ²)	54
4.17	Objekt Nr° 18 - MFWH Graz (BGF: 4282 m ²)	55
4.18	Objekt Nr° 19 - MFWH Graz (BGF: 791 m ²)	56
4.19	Objekt Nr° 20 - MFWH Graz (BGF: 1547 m ²)	57
4.20	Objekt Nr° 21 - MFWH Graz (BGF: 689 m ²)	58
4.21	Objekt Nr° 22 - MFWH Graz (BGF: 2496 m ²)	59
4.22	Objekt Nr° 23 - MFWH Graz (BGF: 77/1277 m ²)	60
4.23	Zusammenfassung	61
5	Ergebnisse und Interpretation	62
5.1	Allgemein	62
5.2	Vergleich von Modellierungen mit den realen Verbrauchswerten	62
5.3	Vergleich von Default-Werten aus OIB6 und HfE mit dem Schichtaufbau	66
5.4	Zusammenfassung	71
6	Vorschlag für Normüberarbeitung	72
7	Zusammenfassung	76
Anhang		82

Abbildungsverzeichnis

2.1	Einflussfaktoren des Energieausweises	4
2.2	Teilbereich Haustechnik	5
2.3	Teilbereich Projektdaten	6
2.4	Teilbereich Bautechnische Aspekte	7
3.1	Feuerzeug Fenstertest	11
3.2	unausgebauter Teilbereich im Dachboden	12
3.3	Projektdaten in GEQ [©]	16
3.4	Gebäudeaufbau	18
3.5	Bauteile	19
3.6	Geometrie	20
3.7	Dachkörper	20
3.8	Nebengiebel	21
3.9	Typeneingabe von Fenstern	22
3.10	Freie Eingabe von Fenstern	22
3.11	Auswahl der Technikeinrichtung	23
3.12	Ersetzen der Bauteile mit fiktiven Werte aus der OIB6	23
3.13	Ausschnitt der Werte aus der OIB6	24
3.14	Auszug aus dem Handbuch für Energieberatung - Erdanliegende Wände	25
4.1	Nutzungsprofile	26
4.2	Ausgewählte Bauweisen in den Energieausweisen	27
4.3	. . . . .	28
4.4	Verlauf der Sonne am Stichtag 20. März	29
4.5	Höhenprofil von Norden nach Süden	30
4.6	Südwestseite des Hauses	30
4.7	Sonnengangberechnung [6]	31
4.8	Sonnenstunden pro Tag im Monatsmittel [6]	31
4.9	Skizze Erdgeschoße mit unterschiedlichen Bauteilaufbauten der Außenwand .	35
4.10	Gestapelter Verbrauch	38
4.11	Plan des Bestandsgebäudes	42
4.12	eine Wohneinheit des MFH	60

4.13	gesamtes MFH	61
5.1	Vergleich der Berechnungsarten aller Objekte	63
5.2	Vergleich der Berechnungsarten aller Objekte, sortiert nach Bruttogeschossfläche	63
5.3	Abweichung bezogen auf das Nutzerprofil	64
5.4	Abweichung bezogen auf das Nutzerprofil	65
5.5	Abweichung von OIB6 und HfE im Bezug auf Schichtaufbau	66
5.6	Abweichung von OIB6 und HfE im Bezug auf Schichtaufbau	67
5.7	Abweichung von OIB und HfE gegenüber dem Schichtaufbau bezogen auf das Nutzerprofil	68
5.8	Abweichung von OIB und HfE gegenüber dem Schichtaufbau bezogen auf die Bauweise	69
5.9	Vergleich der besten und schlechtesten Berechnungsarten aller Objekte	70
6.1	Repräsentatives Modell von DOM und DGM	73

Tabellenverzeichnis

4.1	Decke zu unkonditioniertem geschlossenem Dachraum	32
4.2	Dachschräge hinterlüftet	33
4.3	Decke zu unkonditioniertem ungedämmten Keller	34
4.4	Außenwand Holz	35
4.5	Außenwand Ziegel	36
4.6	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 1	36
4.7	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 2	37
4.8	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 3	39
4.9	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 4	40
4.10	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 5	41
4.11	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 6	44
4.12	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 7	45
4.13	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 8	46
4.14	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 10	47
4.15	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 11	48
4.16	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 12	49
4.17	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 13	50
4.18	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 14	51
4.19	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 15	52
4.20	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 16	53
4.21	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 17	54
4.22	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 18	55
4.23	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 19	56
4.24	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 20	57
4.25	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 21	58
4.26	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 22	59
4.27	Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 23	61
6.1	Beispieltabelle Verbrauchswert eines Haushaltes mit variabler Bewohneranzahl	74

Abkürzungen

PEB	.....	Primärenergiebedarf
HWB	.....	Heizwärmebedarf
OIB 6	.....	Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6
HfE	.....	Handbuch für Energieberater
EEB	.....	Endenergiebedarf
EEB _{RK}	.....	spezifischer Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
EEB _{zul,RK}	.....	spezifischer zulässiger Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
EEB _{26,RK}	.....	spezifischer Bezugsendenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
HEB _{RK}	.....	spezifischer Heizenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
HEB _{zul,RK}	.....	spezifischer zulässiger Heizenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
HEB _{26,RK}	.....	spezifischer Bezugsheizenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen
HHSB	.....	spezifischer Haushaltsstrombedarf

1 Motivation

Das Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012 verpflichtet bei jeglichem genehmigungspflichtigen Umbau, Neubau, Ausbau, Verkauf oder bei Sanierungen und Renovierungen eines Gebäudes einen Energieausweis zu erstellen [7]. Dadurch erhält ein Energieausweis als essentieller Bestandteil eines Vertrages seine Wertigkeit. Eine energetische Bewertung muss fachgerecht ausgeführt werden sowie dem Stand der Technik entsprechen, um eine realitätsnahe Wiedergabe des Bestandsgebäudes zu gewährleisten. Aus der Praxis ist bekannt, dass die Beschreibung der Bauteilaufbauten bei der Berechnung eines Energieausweises großen Spielraum in Bezug auf Ergebnisse zulässt. Als Beispiel dafür wird eine Vollziegelmauer eines Einfamilienhauses aus dem Jahr 1945 herangezogen. Der U-Wert eines solchen Bauteils kann je nach Auslegung und Modellierungsart um bis zu 200% schwanken. Eine mögliche Modellierung der Bauteilaufbauten kann aus den Werten des Handbuches für Energieberater erfolgen. Die Wahl für das oben genannte Beispiel fällt dabei auf eine Vollziegelmauer mit Verputz. Unterschiedliche Baualter werden von 1930 bis 1950 zusammengefasst und ähnlich weitläufig ist auch der U-Wert. Er reicht von 0,9 bis 1,7 [W/m²K]. Im Vergleich dazu, liegt der U-Wert bei einem realitätsnahen Schichtaufbau auf Basis der Berechnung des Computerprogramms GEQ bei 0,98 [W/m²K]. Der dritte Vergleich wird mit den Tabellenwerten aus der OIB Richtlinie 6 bewerkstelligt. In diesem Modell liegt der U-Wert für Außenwände aus dem Jahr 1945 bei 1,75 [W/m²K]. Auf Grund dieser enormen Streuung gilt es, die Abweichungen im Endenergiebedarf auf einer wissenschaftlichen Basis zu belegen.

2 Projektbeschreibung

Im Jahr 2019 wurden laut Statistik Austria [8] in Österreich insgesamt 2.537.922 Gebäude mit 4.821.044 Wohnungen gezählt, von denen 2.090.043 als Wohngebäude deklariert wurden. Das entspricht einem Anteil von 82,4%. Aus diesem Grund werden in dieser Studie Wohngebäude untersucht. In dieser Untersuchung werden 23 Gebäude erfasst, eine Bestandsaufnahme gemacht und über 69 Energieausweise mit dem Computerprogramm GEQ berechnet.

Es gibt mehrere Kenngrößen, welche die energetische Bewertung eines Hauses im Zuge eines Energieausweises beschreiben. Als solche gelten unter anderem der HWB-Wert [kWh/m²a], PEB-Wert [kWh/m²a], CO₂ [kg/m²a], f_{GEE} [-] Faktor oder der Endenergiebedarf (EEB) [kWh/m²a]. Letzterer wird in dieser Studie als Vergleichswert herangezogen.

Der Endenergiebedarf ist die *“Energienmenge, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um den Heizwärme-, den Warmwasserwärme- und Kühlbedarf sowie die erforderlichen Komfortanforderungen an die Belüftung und Beleuchtung decken zu können, ermittelt an der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes.*

Anmerkung 1 zum Begriff: Allfällige Erträge aus Photovoltaik werden unter Einhaltung der dafür geltenden Regeln berücksichtigt.“ [9]

Der EEB-Wert errechnet sich aus:

$$EEB_{RK} = HEB_{RK} + HHSB \quad (2.1)$$

$$EEB_{zul,RK} = HEB_{zul,RK} + HHSB \quad (2.2)$$

$$EEB_{26,RK} = HEB_{26,RK} + HHSB \quad (2.3)$$

EEB_{RK}	spezifischer Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen, in kWh/(m ³ K)
$EEB_{zul,RK}$	spezifischer zulässiger Endenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen, in Wh/(m ³ K)
$EEB_{26,RK}$	spezifischer Bezugsendenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen, in Wh/(m ³ K)
$HEB_{zul,RK}$	spezifischer zulässiger Heizenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen (festgelegt durch die Anforderungen der Harmonisierten Bautechnischen Vorschriften), in Wh/(m ³ K)
$HEB_{26,RK}$	spezifischer Bezugsheizenergiebedarf mit Referenzklimabedingungen, in Wh/(m ³ K)
$HHSB$	spezifischer Haushaltsstrombedarf, in Wh/(m ³ K)

Anhand der $EEB_{26,RK}$ -Werte werden die verschiedenen Energieausweise gegenübergestellt und statistisch untersucht.

In dieser Arbeit werden im speziellen bautechnischen Aspekte betreffende Bereiche untersucht und entsprechend variiert. Die variablen Elemente in den bautechnischen Aspekten sind: Fenster und Türen sowie die Bauteilaufbauten. Der Vollständigkeit halber werden hier jedoch sämtliche Eingangsparameter eines Energieausweises aufgelistet und deren Zusammenhänge erörtert. Die Abbildung 2.1 dient zur Veranschaulichung dieser. Um eine Beeinflussung der Auswertungen durch weitere Eingangsparameter wie Haustechnik und Projektdaten ausschließen zu können, werden diese unverändert in jede neue Modellierung übernommen. Lediglich subjektive Faktoren wie Lebensgewohnheit oder Nutzungsgrad der Gebäude können nicht genau erfasst und beurteilt werden. Deren Einfluss wird durch die Anzahl der Versuchsobjekte verschmälert.

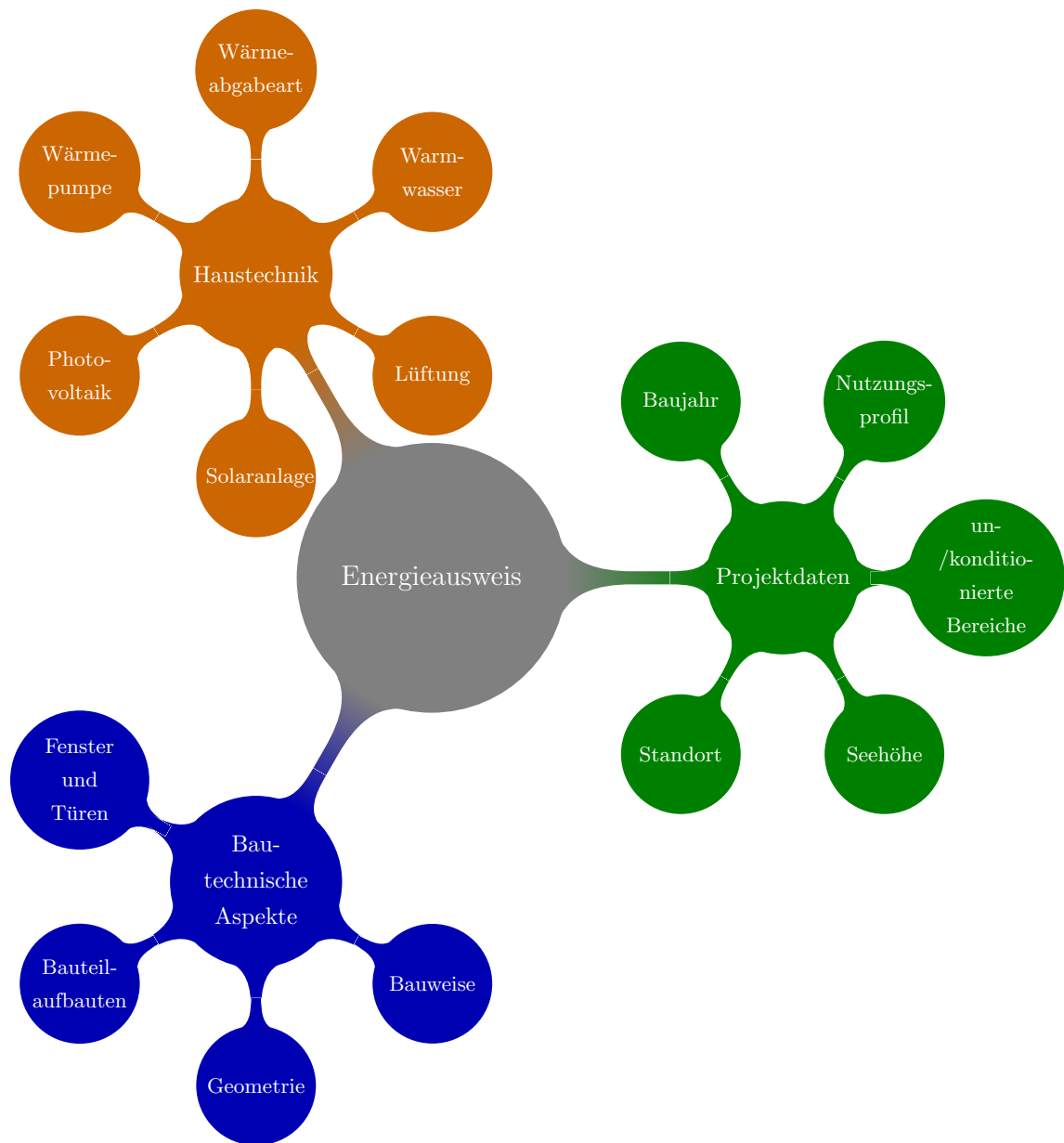


Abbildung 2.1: Einflussfaktoren des Energieausweises

2.1 Haustechnik

Die Haustechnik deckt hierbei die gesamte Technik zum Wärmen, Kühlen und Be- und Entlüftung eines Gebäudes ab. Sie hat maßgeblichen Einfluss auf den Energieausweis, dessen unterschiedliche Einwirkung ist jedoch nicht Teil der Forschung. Sie wird in den Berechnungsmodellen aus Kapitel 4 unverändert in den verschiedenen Varianten so belassen, dass sie die Realität bestmöglich abbildet und keinen Einfluss auf die Untersuchung nimmt.

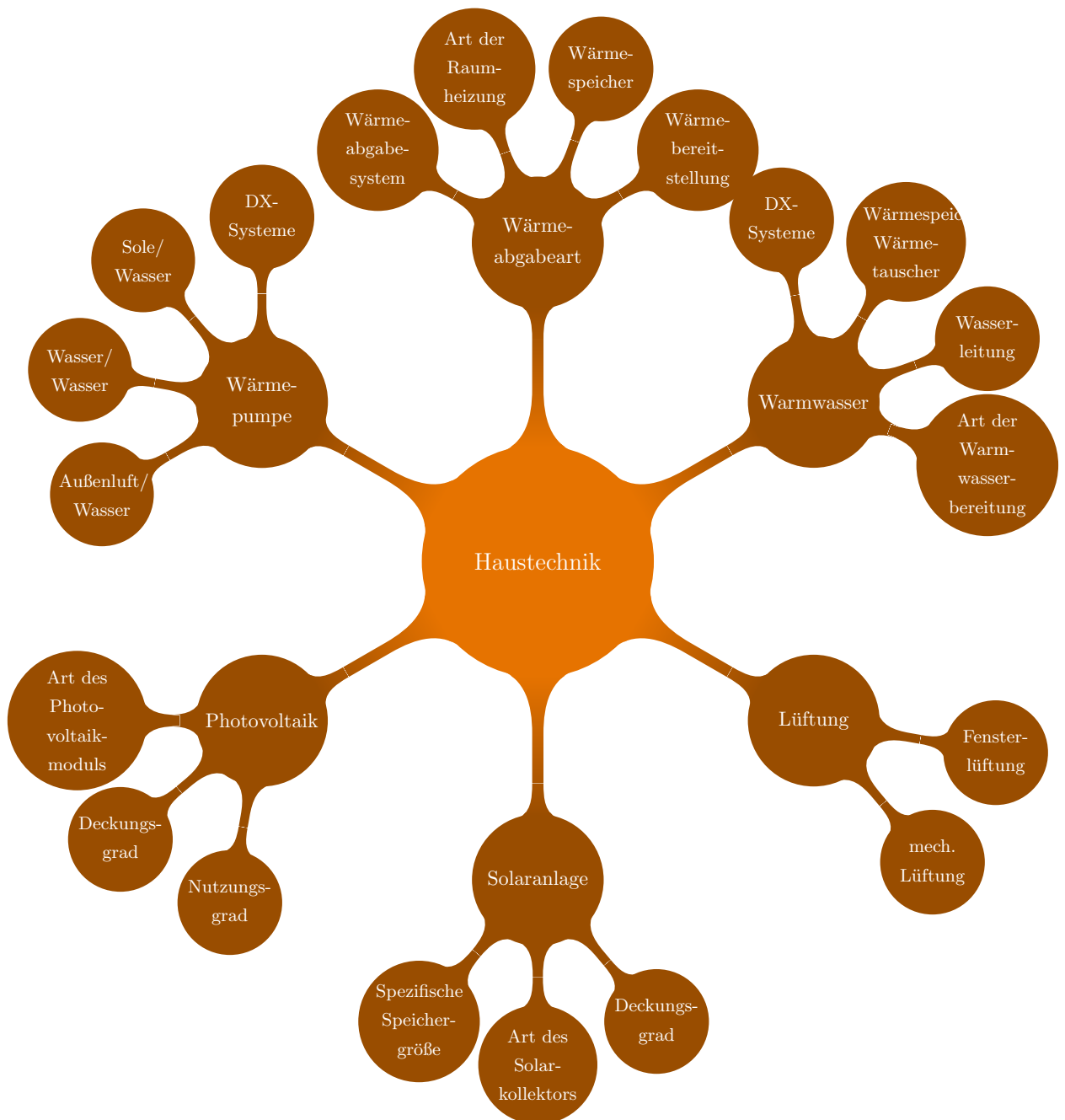


Abbildung 2.2: Teilbereich Haustechnik

2.2 Projektdaten

Die Projektdaten beschreiben den Standort, Baujahr und das Nutzungsprofil. Es ergeben sich dadurch Beiwerte für den Energieausweis. Gleich wie die Haustechnik, werden auch diese Daten unverändert in den einzelnen Modellierungen eingespeist und aus der Realität übernommen. Die Nutzungsprofile sind wichtiger Bestandteil der statistischen Ausarbeitung.

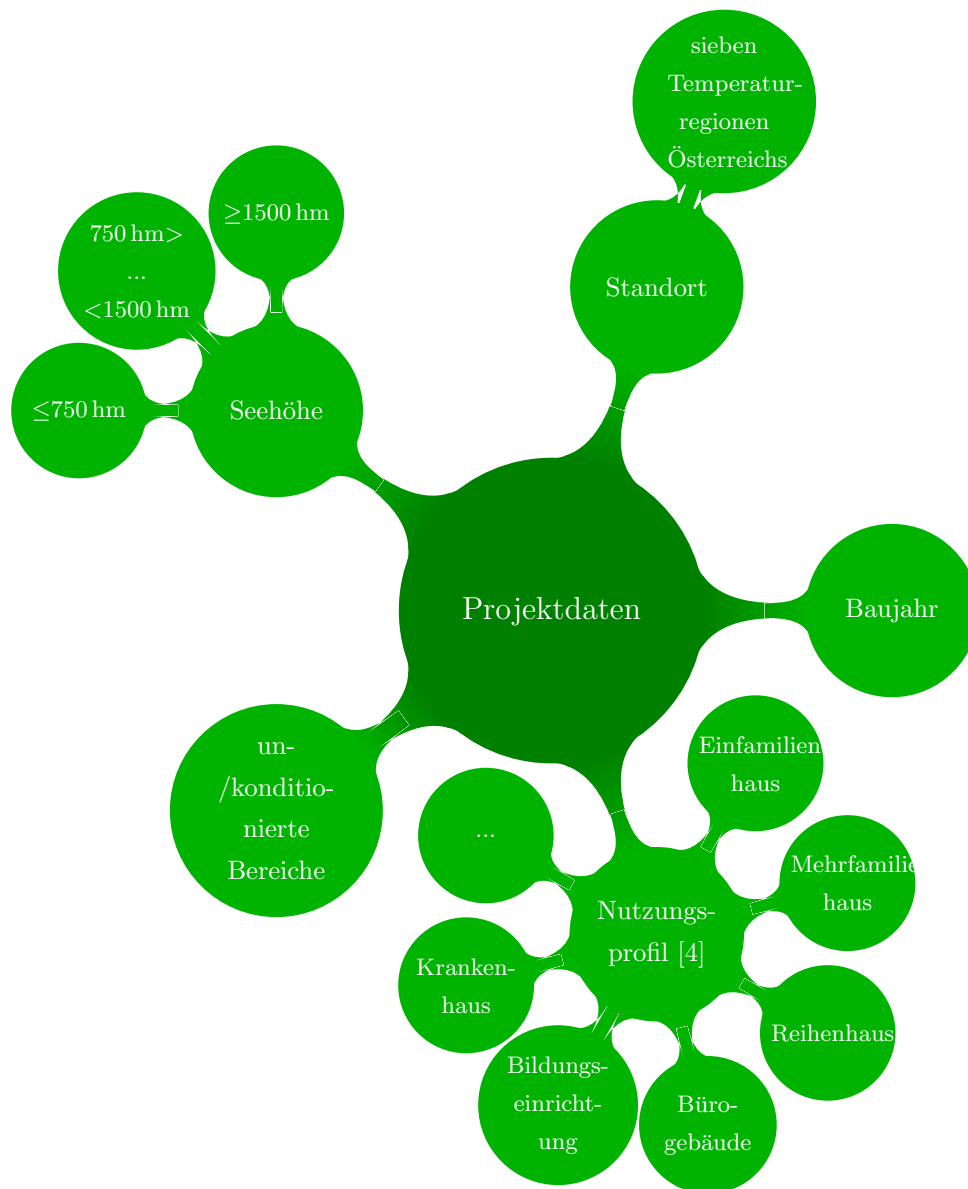


Abbildung 2.3: Teilbereich Projektdaten

2.3 Bauphysikalische Aspekte

Die Abbildung 2.4 zeigt die Bauphysikalischen Aspekte. Dabei werden in verschiedenen Modellierungen die selben Bauweisen mit unterschiedlichen Bauteileigenschaften verglichen. Die Werte der Teilbereiche "Fenster und Türen" und "Bauteilaufbauten" werden entweder aus dem "Handbuch für Energieberater", der "OIB6" oder dem Schichtaufbau lt. Bestandsaufnahme entnommen. Diese Eingangsparameter werden in der Arbeit genauer untersucht und deren Kenngrößen (U-Wert, g-Wert) in den verschiedenen Modellierungen miteinander verglichen.

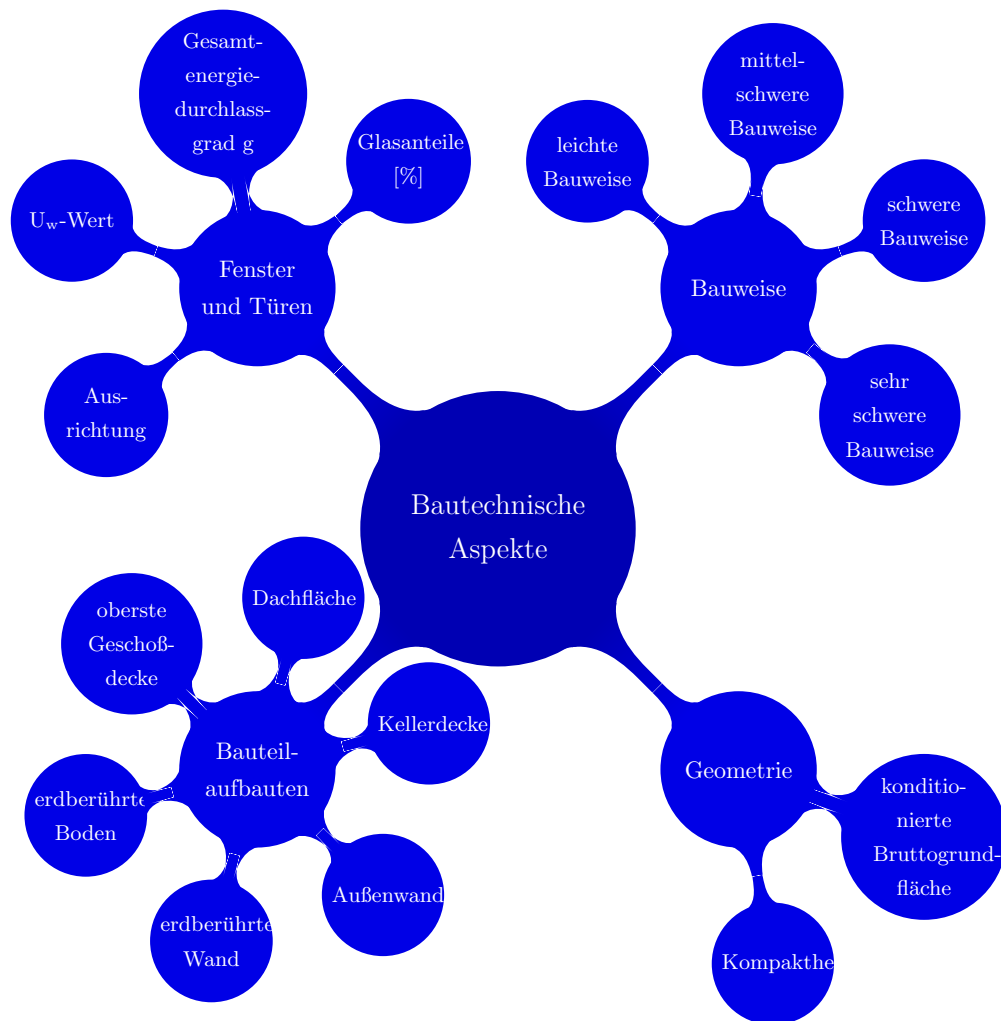


Abbildung 2.4: Teilbereich Bautechnische Aspekte

2.4 Zusammenfassung

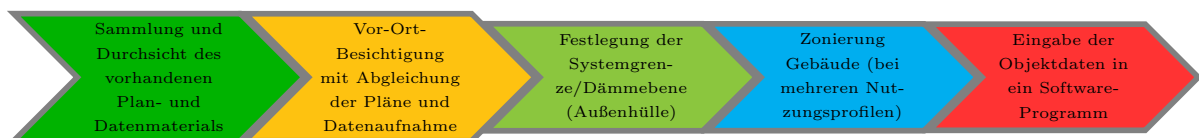
Die unterschiedlichen Energieausweise eines Gebäudes wurden miteinander verglichen. Dazu wird der Endenergiebedarf herangezogen. Er wird aus mehreren Faktoren errechnet und beschreibt die Energie, welche allen energietechnischen Systemen zugeführt wird. Weiters werden die Zusammenhänge des Energieausweises ausgearbeitet und kurz beschrieben, sowie die bautechnischen Aspekte erläutert und deren Auswirkung erklärt.

3 Methodik und Modellaufbau

Allgemein

In der vorliegende Arbeit wird nach folgenden methodischen Schritten vorgegangen: die Bestandsaufnahme (Abschnitt 3.1), die Modellierung (Abschnitt 3.3) und die Anpassung der Kenndaten laut "OIB6" und nach dem "Handbuch für Energieberater".

Die Vorgehensweise bei einer Berechnung eines Energieausweises ist folgende:



3.1 Bestandsaufnahme

Nach der Auswahl der Gebäude oder Gebäudeteile wird das Objekt vor Ort untersucht und abgemessen. Wichtige Informationen wie Baujahr, Bauweise und genaue Adresse werden vorab mit dem Bauherren oder mit dem Mieter besprochen. Entscheidend für eine exakte Auswertung sind die Außenmaße, der korrekte Aufbau der Bauteile und die Größe, Orientierung und Anzahl der Fenster und Türen eines Objekts. Wenn möglich, wird ein Einreich- oder Polierplan mit den örtlichen Gegebenheiten verglichen, Gemessenes hat dabei Priorität. Gleiches gilt für den Bauteilaufbau und dessen Dicke. Optische und akustische Verifizierung werden den Angaben des Hausherrn gegenüber priorisiert. Bauteile, dessen Aufbau nicht verifiziert werden können, werden laut Bauherren oder möglichen Plänen und Beschreibungen in das Computerprogramm GEQ[©] eingetragen und entsprechend notiert. Während der Aufnahme der Gebäudekenndaten werden Fotos von Gebäudehülle und möglichen Details im Inneren des Gebäudes gemacht. Eine abschließende Festlegung der Systemgrenzen und Dämmebene komplettiert die Analyse vor Ort. Die Systemgrenzen bzw. die Gebäudehülle ist die Grenze zwischen konditionierten und unkonditionierten Bereichen.

Weiters werden die entscheidenden Faktoren näher beschrieben.

3.1.1 Fenster und Türen

Fenster und Türen werden abgemessen und dessen Eigenschaften notiert. Zu diesen Eigenschaften gehören:

- U-Wert
- g-wert (Gesamtenergiedurchlassgrad)
- Fensteranteil oder Dicke der Fensterrahmen
- Anzahl der Fensterscheiben
- Beschichtungsart der Fensterscheiben

U-Werte und g-Werte werden nur bei vorhandenem Datenblatt notiert [[10]]. Wie in Abbildung 3.1 zu sehen ist, wird jedes Fenster mit dem "Feuerzeugtest" überprüft. Wärmeschutzverglasung, Isolierverglasung oder Sonnenschutzverglasung sowie die Anzahl der Scheiben werden mit diesem Test überprüft. Eine Wärmeschutzverglasung, wie in Abbildung 3.1a gezeigt wird, färbt in der Spiegelung die Flamme rötlich-violett (falls metallbeschichtet). Im Beispiel sieht man eine Zweifachverglasung mit zwei Reflexionspaaren und insgesamt 4+1 Flammen. Bei einer Wärmeschutzverglasung färbt sich die zweite Flamme beim ersten Reflexionspaar. Bei einer Sonnenschutzverglasung oder Feuerschutzverglasung wird die erste Flamme im zweiten Reflexionspaar gefärbt. Bei einer Isolierverglasung wie in Abbildung 3.1b gezeigt, bleiben die Flammenfarben unverändert. So wie bei der Wärmeschutzverglasung gibt die Anzahl der Reflexionspaare die Anzahl der verbauten Fensterscheiben an. Ein weiterer wichtiger Faktor für eine genaue Auswertung ist die Orientierung der Fenster und Türen. Die Wärmegewinnung durch transparente Gebäudeteile wird maßgeblich von der Himmelsrichtung beeinflusst. Laut Bautechnischen Zahlentafeln [[11]] wird der Wärmedurchgang eines Fensters nach Osten oder Westen mit dem Faktor 0,63 im Bezug auf den Süden verringert und Richtung Norden mit 0,39.



(a) Wärmeschutzverglasung



(b) Isolierverglasung

Abbildung 3.1: Feuerzeug Fenstertest

3.1.2 Bauteile

Die Ermittlung der Bauteile beginnt mit der optischen und akustischen Prüfung vor Ort. Mögliche Pläne oder Informationen des Hausherrn werden notiert und gegebenenfalls als Alternative zur Eigenkontrolle herangezogen. Die einzelnen Bauteile werden tabellarisch aufgelistet und einzeln abgearbeitet. Ein optimales Ergebnis wird bei einem genauen Schichtaufbau erzielt. Die Prüfung sollte zerstörungsfrei erfolgen. Dabei können folgende zerstörungsfreie Prüfmethoden angewendet werden:

- Visuelle Inspektion (Sichtprüfung)
- Akustische Verfahren (Ultraschall und Impakt-Echo)
- Elektromagnetische Verfahren (Radar, Thermografie und Radiografie)
- Elektrochemische Verfahren (Potentialfeldmessverfahrens)
- Magnetische Verfahren (Remanenzmagnetismusverfahrens)
- Spektroskopische Verfahren (Laser-Induzierten Breakdown Spektroskopie (LIBS))

Für diese Studie wurde überwiegend die Visuelle Inspektion angewendet. Die Vorteile einer Sichtprüfung sind die gute Dokumentierbarkeit und die schnelle und einfache Ausübung, sie setzt jedoch genaue Kenntnisse der zu erwartenden Gegebenheiten voraus. Als Beispiel dafür sieht man in Abbildung 3.2 einen unausgebauten Teilbereich im Dachboden durch welchen

man den Bauteilaufbau genauer verifizieren kann.



Abbildung 3.2: unausgebauter Teilbereich im Dachboden

Minimalinvasive (Bohrwiderstandsmessung, Endoskopie) oder zerstörende (Prüfung an Bohrkernen, Spanngliedöffnung) Prüfungen sind für einen Energieausweis unwirtschaftlich. Sie sind mit hohem Zeit- und Materialaufwand verbunden.

3.1.3 Haustechnik

Wie bei den vorangegangenen Teilbereichen werden auch die Haustechnik, im Besonderen die Raumheizung und die Warmwasserbereitung- und Speicherung vor Ort untersucht. Etiketten und Plaketten auf den verschiedenen Geräten der HKLS werden dokumentiert und fotografiert.

Raumheizung

Die Art der Raumheizung, der Wärmeabgabety, der Systemtemperatur und die Regelfähigkeit der jeweiligen Heizung sind weitere Kenndaten, die dokumentiert werden. Wärmeverteilung, Wärmespeicher und Wärmebereitstellung wurden ebenfalls untersucht und abfotografiert.

Warmwasser

Lt. ONÖRM B 8110-6[10] gehen in die Warmwasserberechnungen folgende Indikatoren ein, die auch vor Ort ohne zerstörerische Maßnahmen untersucht werden können:

- Warmwasserbereitung (kombiniert oder getrennt von der Raumheizung)
- Art der Warmwasserbereitung
- Wärmeabgabesystem
- Wärmeverteilung
- Wärmespeicher sowie Wärmetauscher
- Wärmebereitstellung (bei getrennter Warmwasserbereitung)

Wärmepumpe

Die Wärmepumpe kann in ihrer Funktion nur für die Raumheizung oder nur für die Warmwasseraufbereitung oder für beides in Kombination eingesetzt werden. Wichtige Eckdaten sind dabei die Bauweise, das Baujahr sowie die Nennwärmeleistung und die Art der Verlegung (tiefverlegt oder flachverlegt).

Die Wärmepumpen werden in sechs Wärmepumpenarten unterschieden:

- Außenluft/Wasser
- Wasser/Wasser
- Abluft/Wasser
- Sole/Wasser
- DX-System (Direktverdampfer)
- Abluft/Zuluft

Weiters ist die Angabe zur Betriebsart der Wärmepumpe notwendig:

- Monovalenter Betrieb: Die Wärmepumpe deckt den Wärmebedarf während des gesamten Jahres ohne zusätzliche Heizquelle ab.
- Bivalent-alternativ Betrieb: Falls die Wärmepumpe bei tiefen Außentemperaturen den Wärmebedarf nicht alleine decken kann, wird ein anderer Wärmeerzeuger anstatt der Wärmepumpe verwendet.
- Bivalent-paralleler Betrieb: Falls die Wärmepumpe bei tiefen Außentemperaturen den Wärmebedarf nicht alleine decken kann, wird ein anderer Wärmeerzeuger parallel zur Wärmepumpe verwendet.

Thermische Solaranlage

Für eine thermische Solaranlage werden folgende Eigenschaften für den Energieausweis notiert[12]:

- Solarkollektorart
- Anlagentyp
- Wärmespeicher Nennvolumen [L]
- Aperturfläche [m²]
- Kollektorverdrehung (Süd = 0 Grad)
- Neigungswinkel (Lotrecht = 90 Grad)
- Dämmung der Rohrleitung
- Geländewinkel zur Ermittlung der Horizontalverschattung (Grad)

Photovoltaiksystem

Bei einer Photovoltaikanlage müssen folgende Kennwerte notiert werden:

- Mittlerer Wirkungsgrad [kW/m²]
- Peakleistung [kW]
- Modulfläche [m²]
- Kollektorverdrehung (Süd = 0 Grad)
- Neigungswinkel (Lotrecht = 90 Grad)
- Art des PV-Moduls

Lüftung [13]

Der wesentliche Unterschied ist die Fensterlüftung und die kontrollierte Wohnraumlüftung (KWL). Eine KWL ist eine mechanische Lüftung zur definierten Be- und Entlüftung einer Wohnung. Die kleinste Einheit ist eine dezentrale Nassraumlüftung.

3.2 Gebäudekategorien und Zonierung

Für die Berechnung des Energiebedarfs kann es erforderlich sein, das Gebäude in unterschiedliche Zonen einzuteilen. Die jeweiligen Berechnungszonen ergeben sich aus den Nutzungen für

Wohngebäude und für Nicht-Wohngebäude. Jede der Nutzungen ist mit einem standardisierten Nutzungsprofil hinterlegt. Alle Nutzungsprofile sind in der ÖNORM B 8110-5 detailliert beschrieben. In der OIB-Richtlinie 6, Punkt 3 sind neben der Wohnnutzung auch 12 Nutzungen für Nicht-Wohngebäude festgelegt. Für diese Forschung wurden Wohngebäude ausgesucht.

3.2.1 Wohngebäude

- Einfamilienhaus
- Mehrfamilienhaus

Bei Wohngebäuden lassen sich grundsätzlich zwei Gruppen bilden. Einfamilienhäuser (Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten) und Mehrfamilienhäuser (Wohngebäude mit mehr 3 Nutzungseinheiten).

3.2.2 Zonierung

Zur Berechnung des Energiebedarfs wird das Gebäude in Zonen unterteilt. Die Berechnungszonen ergeben sich aus der jeweiligen Nutzung. Die Nutzungszone werden gemäß ÖNORM B 8110-5 [14, 8] in Wohngebäuden sowie Nicht-Wohngebäuden unterteilt. Aus der Summe des Energiebedarfs der einzelnen Nutzungszonen ergibt sich der Gesamtenergiebedarf für das Gebäude. Eine Zone umfasst die gesamte konditionierte (Heizung, Kühlung, Befeuchtung, Belüftung) BGF, die durch einheitliche Nutzungsanforderungen (Temperatur, Belüftung und Beleuchtung), bei gleichartigen Randbedingungen, gekennzeichnet ist. Anliegende nicht konditionierte Räume fließen indirekt als Pufferzone (Wärmefluss durch Transmission) in die Berechnung mit ein. [4]

3.3 Modellierung und Datenerfassung in GEQ[©]

Die Ausarbeitung der Daten beginnt mit der korrekten Eingabe der Kennwerte im Computerprogramm GEQ[©] der Firma "ZehntmayerSoftware". Die Werte aus der Bestandsaufnahme werden schrittweise in das Programm eingegeben und das Gebäude wird möglichst realitätsnahe modelliert. Zum Bestand mit einem Bauteilschichtaufbau und den realen Gebäudekennwerten (Fenstertypen, Ausrichtung und Haustechnik) kommt eine in der Gebäudegeometrie identische Planung mit fiktiven Bauteil- und Fensterkennwerten. Die erste Planung, welche mit dem Bestand in Relation gebracht wird, enthält die Default-Werte aus der OIB Richtlinie 6. Die zweite Planung wird mit Default-Werten aus dem "Handbuch für Energieberatung"

versehen. Die Berechnung wird in Folge mit den realen Energieverbrauchswerten des Objektes verglichen.

3.3.1 Projektdaten eingeben

Jedes Projekt beginnt mit der Eingabe der Projektdaten. Wichtige Kennwerte sind, wie Abbildung 3.3 zeigt: Baujahr, Bauart, Gebäudeaufbau, Nutzungsprofil [14, 8], Standort und Meereshöhe. Letztere erhält man aus dem Digitalen Atlas der GIS-Steiermark. [[15]]

Abbildung 3.3: Projektdaten in GEQ[©]

Für die genaue Berechnung des Energieausweises ist die korrekte Eingabe der Bauweise eines Gebäudes maßgebend. Es beschreibt die wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C ist [lt. [10]] wahlweise wie folgt zu ermitteln:

- gemäß ÖNORM B 8110-3 [16], unter Einbeziehung der Übergangswiderstände und Umrechnung von Speichermassen in Speicherkapazitäten, oder
- entsprechend dem vereinfachten Ansatz nach Gleichung 3.1.

$$C = f_{BW} \cdot V \quad (3.1)$$

Es bedeutet [lt.[10, 9.1.1] und [17, 9.1.2]]:

C	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, in Wh/K
$f_{BW} = 10,0$	Defaultwert für leichte Bauweisen, in Wh/(m ³ K)
$f_{BW} = 20,0$	Defaultwert für mittelschwere Bauweisen, in Wh/(m ³ K)
$f_{BW} = 30,0$	Defaultwert für schwere Bauweisen, in Wh/(m ³ K)
$f_{BW} = 60,0$	Defaultwert für sehr schwere Bauweisen, in Wh/(m ³ K) [17]
V	konditioniertes Bruttovolumen, in m ³

Die Einteilung der Bauweisen hat gemäß [10, 9.1.1] folgender Unterscheidung zu folgen:

- Als leichte Bauweisen sind Gebäude in Holzbauart ohne massive Innenbauteile einzustufen.
- Als mittelschwere Bauweisen sind Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden einzustufen.
- Als schwere Bauweisen sind Gebäude mit großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängte Decken einzustufen.
- Als sehr schwere Bauweise sind Gebäude mit sehr massiven Außen- und Innenbauteilen (Altbaubestand) einzustufen. [17]

Im Weiteren wird der Gebäudeaufbau modelliert. Dieser Schritt hat maßgebliche Auswirkungen auf die weitere Eingabe (Abbildung 3.4). In dieser Modellierung wird die thermische Gebäudehülle definiert. Sie umschließt den konditionierten Bereich eines Gebäudes. Dieser kann von Haus zu Haus variieren. Mögliche Unterschiede sind der kalte oder beheizte Dachraum, der kalte oder beheizte Keller sowie die Anzahl der beheizten Geschoßen dazwischen. Sie bietet somit eine Übersicht der Außenbauteile.

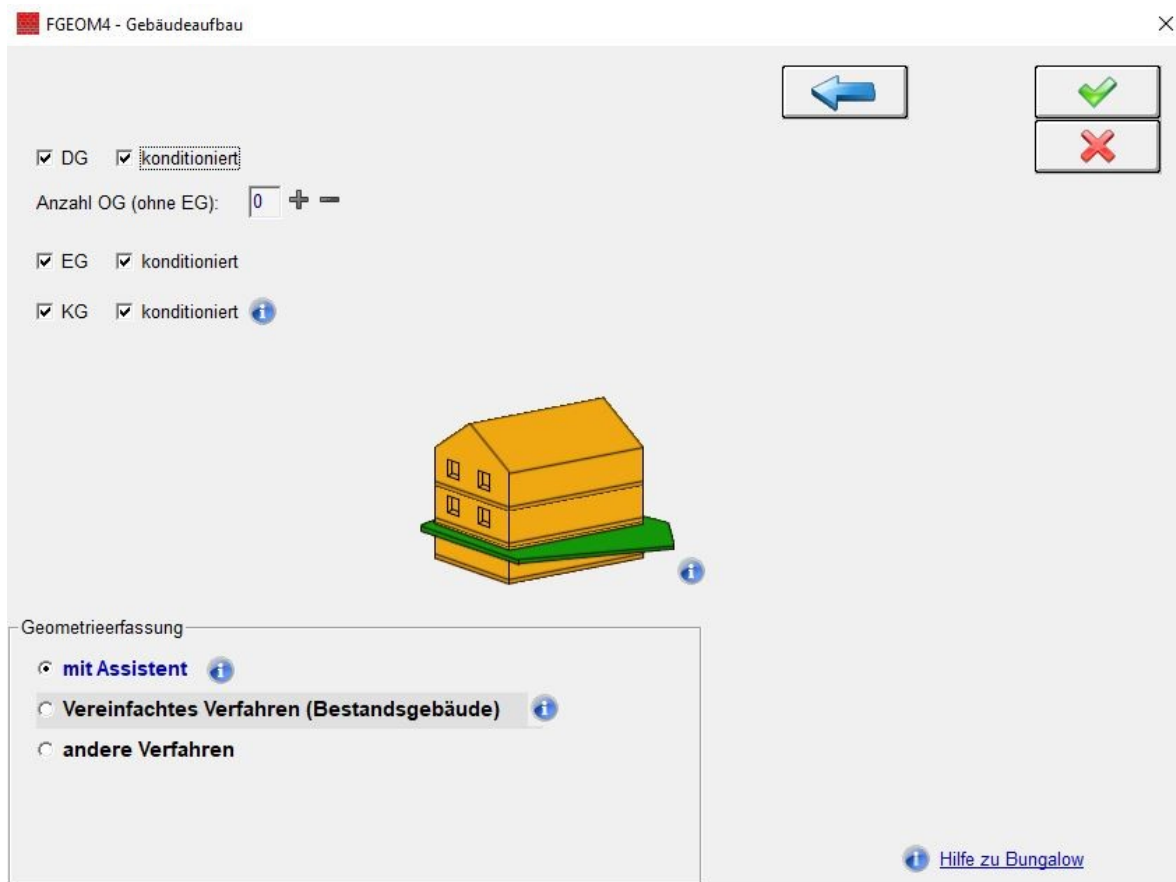


Abbildung 3.4: Gebäudeaufbau

3.3.2 Bauteileingabe [2]

In diesem Reiter werden alle relevanten Bauteile aufgenommen. Eine aussagekräftige Berechnung kann nur gewährleistet werden, wenn die Kenndaten deckungsgleich mit den realen Überprüfungen vor Ort übereinstimmen.

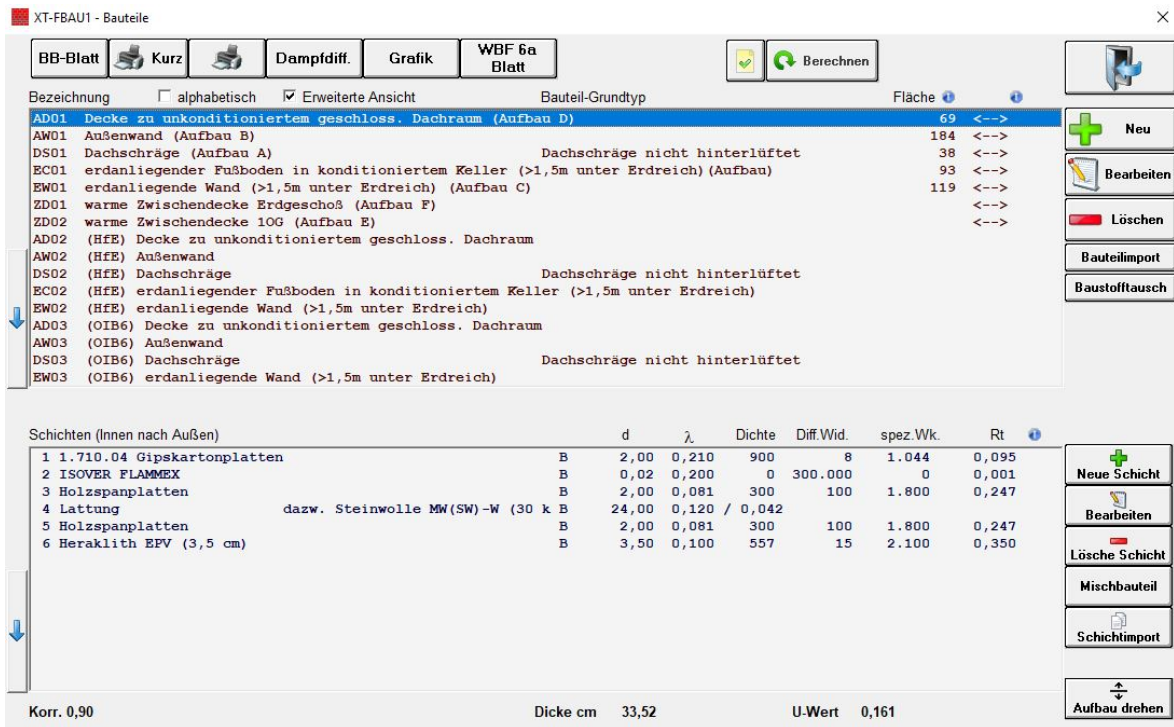


Abbildung 3.5: Bauteile

3.3.3 Geometrie

Basierend auf der Bestandsaufnahme wird die Geometrie des Gebäudes eingegeben. Die brutto Außenmaße, welche man den Notizen der örtlichen Anschauung entnimmt, werden so wie die Raumhöhen im Reiter "Geometrie" eingegeben. Es werden nur geometrische Grundformen eingegeben. Der Grundriss wird dabei aus verschiedenen Grundformen kombiniert.

Jedes Stockwerk wird getrennt voneinander eingegeben. Die Etagen untereinander müssen die gleichgroßen Schnittflächen haben. Mögliche Ausnahmen sind Überhänge (Wärmestrom nach Oben) oder teilweise überdachte Gebäudeteile. Galerien, welche über zwei Stockwerke ragen, werden dementsprechend modelliert.



Abbildung 3.6: Geometrie

Abschließend wird der Dachkörper eingegeben. Wie in Abbildung 3.7 ersichtlich, gibt es mehrere Formen zur Auswahl. Zur detaillierten Eingabe werden auch hier Grundformen kombiniert und mit Gaupen oder Giebeln überarbeitet (Abbildung 3.8).

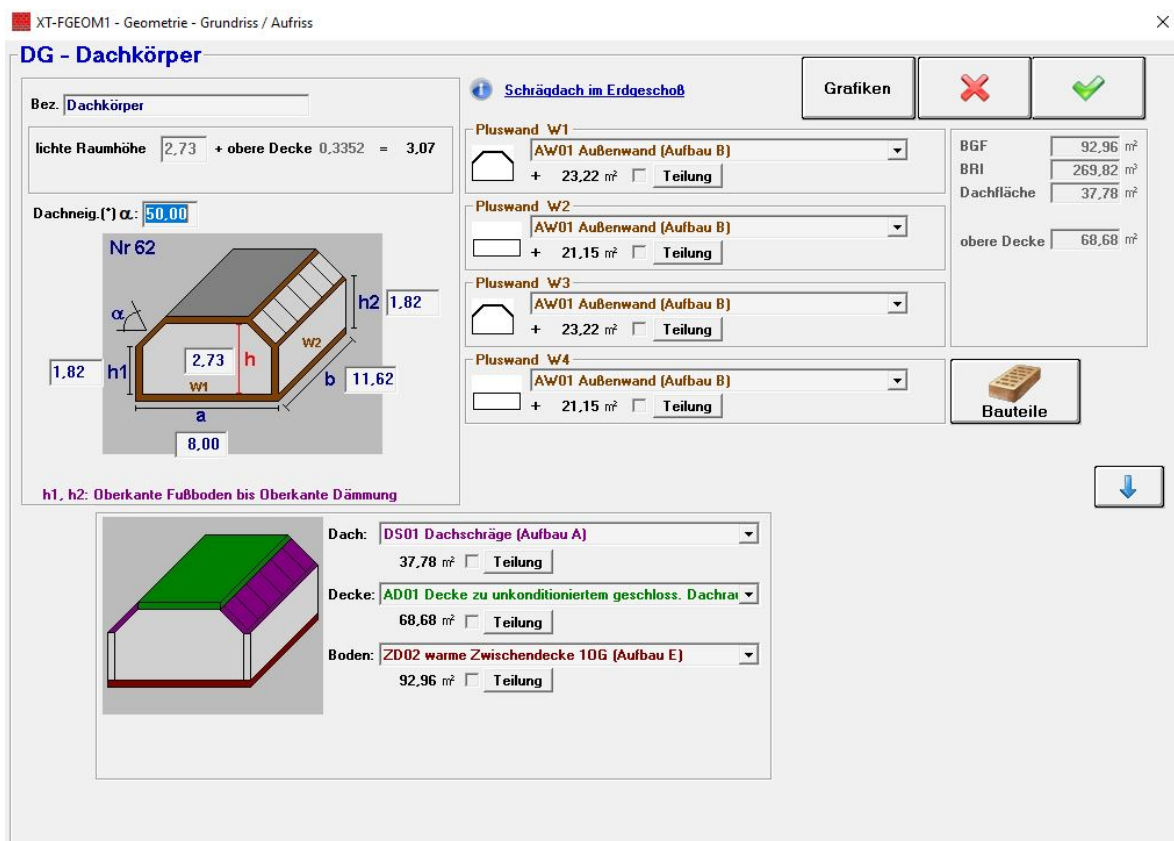


Abbildung 3.7: Dachkörper

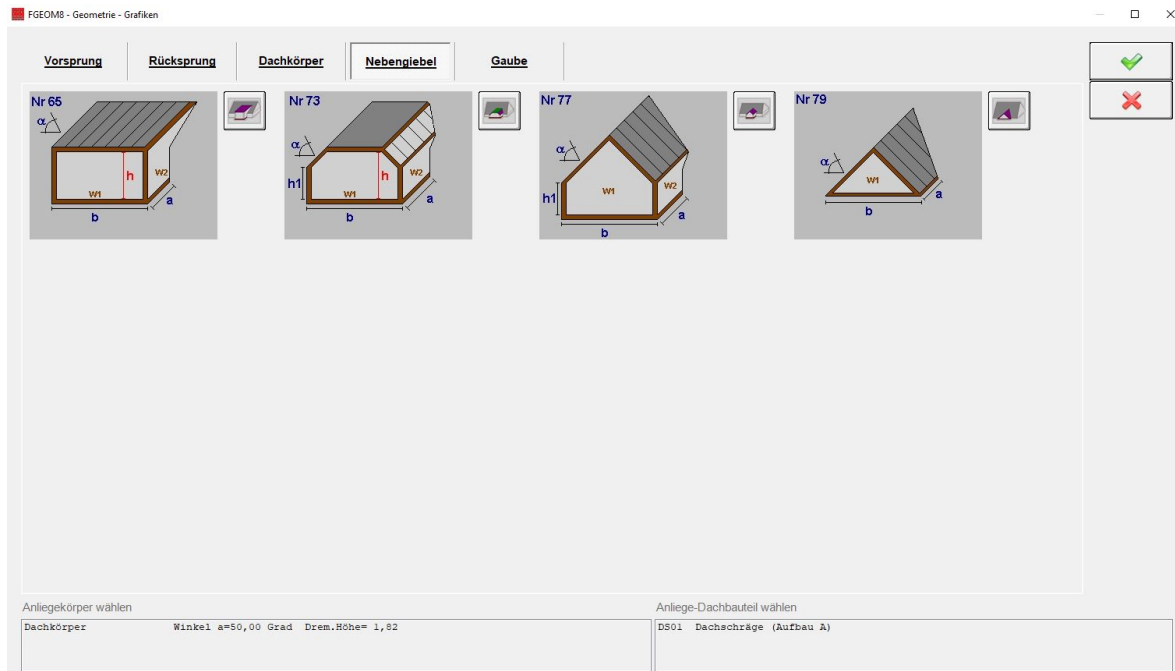


Abbildung 3.8: Nebengiebel

3.3.4 Fenster und Türen

Die Fenster können im Computerprogramm GEQ[®] detailliert eingegeben werden (Abbildung 3.9). Dazu sind die Kenndaten aus dem Datenblatt und die Abmessungen aus der Bestandsaufnahme notwendig. Liegen die Daten nicht vor, wird alternativ die freie Eingabe mittels Größe der Fenster, Glasanteil, U-Wert und Gesamtenergiedurchlassgrad g gewählt (Abbildung 3.10).

Laut ÖNORM 8010-6.1:20019[10, 5.2.1] und ÖNORM EN ISO 10077-1[18] werden Fenster und Türen als nichtopake Teilfläche der Außenhaut bezeichnet. Der Leitwert (L_e [W/K]) wird daher gesondert berechnet. Er ergibt sich aus der Aufsummierung der einzelnen Teilflächen (A_k [m²]) multipliziert mit den Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Teilflächen (U_k [W/m²K]).

$$L_e = \sum (A_k \cdot U_k) \quad (3.2)$$

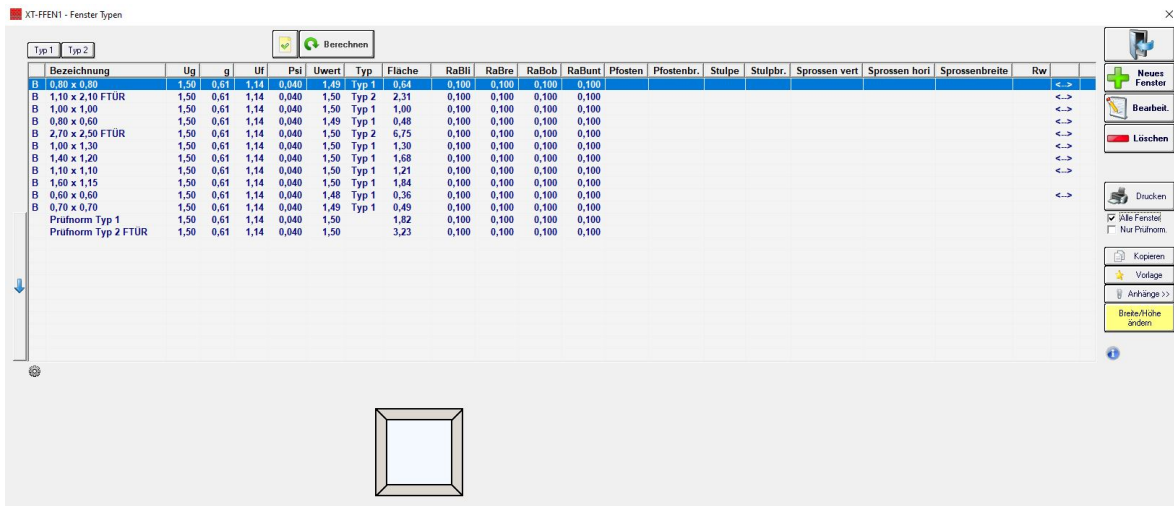


Abbildung 3.9: Typeneingabe von Fenstern

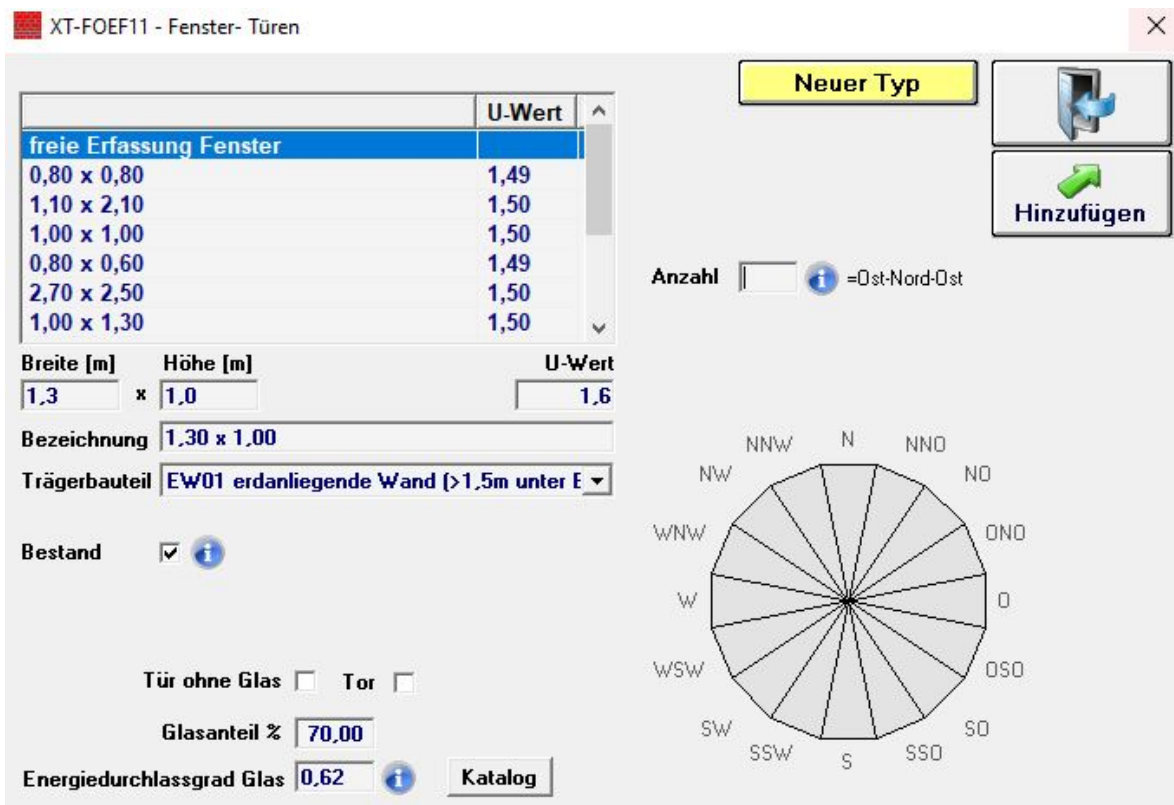


Abbildung 3.10: Freie Eingabe von Fenstern

3.3.5 Haustechnik [3]

Der nächste Schritt ist die Eingabe der Haustechnik. Wie in Abbildung 3.11 wird dabei zwischen mehreren “Modellen“ unterschieden. Dabei können die einzelnen Teilbereiche frei gewählt und kombiniert werden. Die Auswirkungen und Veränderungen bei der Wahl der

Infrastruktur wird in Unterabschnitt 3.1.3 kurz beschrieben.

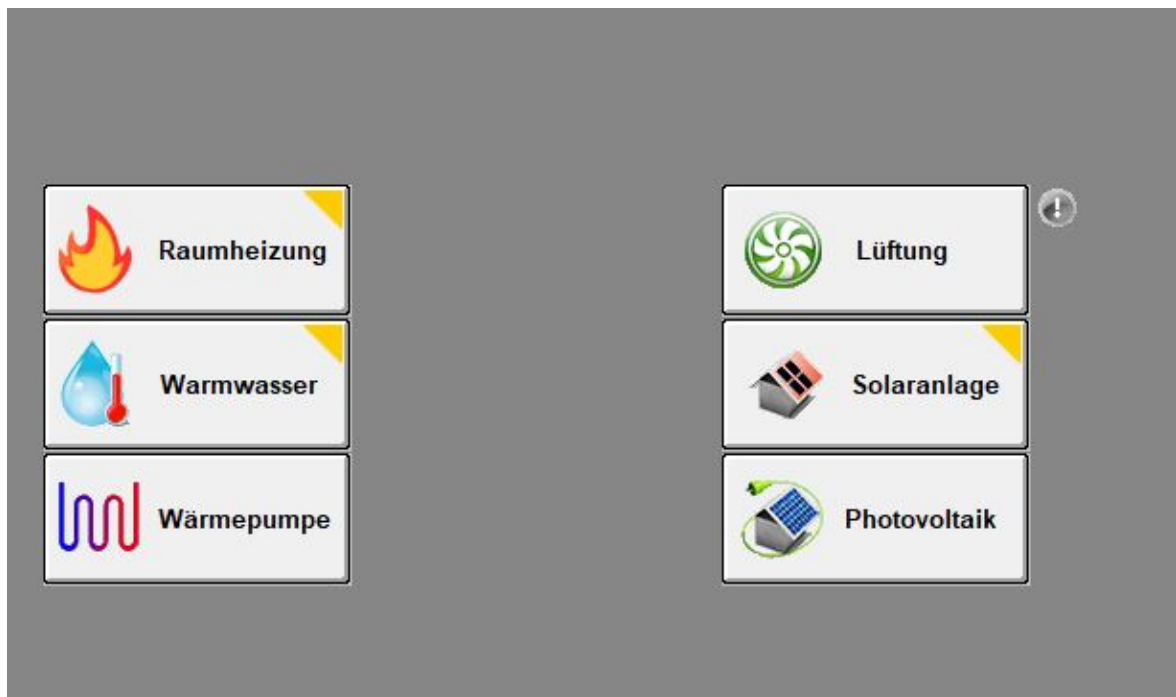


Abbildung 3.11: Auswahl der Technikeinrichtung

3.4 Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6 [4]

Der erste Vergleichswert des Energieausweises entstammt aus dem Leitfaden der OIB6 Richtlinie. Dabei werden die Werte der Bauteile in GEQ manipuliert und durch fiktive Werte ersetzt (Abbildung 3.12).



Abbildung 3.12: Ersetzen der Bauteile mit fiktiven Werte aus der OIB6

Epoche / Gebäudetyp	KD	OD	AW	DF	FE	g	AT
vor 1900 EFH	1,25	0,75	1,55	1,30	2,50	0,67	2,50
vor 1900 MFH	1,25	0,75	1,55	1,30	2,50	0,67	2,50
ab 1900 EFH	1,20	1,20	2,00	1,00	2,50	0,67	2,50
ab 1900 MFH	1,20	1,20	1,50	1,00	2,50	0,67	2,50
ab 1945 EFH	1,95	1,35	1,75	1,30	2,50	0,67	2,50
ab 1945 MFH	1,10	1,35	1,30	1,30	2,50	0,67	2,50
ab 1960 EFH	1,35	0,65	1,20	0,55	3,00	0,67	2,50
ab 1960 MFH	1,35	0,65	1,20	0,55	3,00	0,67	2,50
Systembauweise	1,10	1,05	1,15	0,45	2,50	0,67	2,50
Montagebauweise	0,85	1,00	0,70	0,45	3,00	0,67	2,50

Bei den angegebenen Werten handelt es sich grundsätzlich um Mittelwerte aus der Erfahrung und nicht um schlechtest denkbare Werte.

Legende: KD ... Kellerdecke OD ... Oberste Geschößdecke AW ... Außenwand DF ... Dachfläche FE ... Fenster g ... Gesamtenergiedurchlassgrad AT ... Außentüren EFH ... Einfamilienhaus MFH ... Mehrfamilienhaus	Systembauweise ... Bauweise basierend auf systemisierter Mauerwerksbauweise o.ä. Montagebauweise ... Bauweise basierend auf Fertigteilen aus Beton mit zwischenliegender Wärmedämmung Für alle nicht erwähnten Bauteile wie z.B. Kniestockmauerwerk, Abseitenwände, Abseitendecken sind grundsätzlich die entsprechenden Werte für Außenbauteile zu verwenden.
---	--

Abbildung 3.13: Ausschnitt der Werte aus der OIB6

Gleiches gilt auch für die maßgebenden Eigenschaften von Fenstern.

- Breite und Höhe
- U-Wert
- g-Wert

3.5 Handbuch für Energieberater [5]

Der zweite Vergleichswert des Energieausweises entstammt aus dem “Handbuch für Energieberater “. Es enthält standardisierte Werte für verschiedene Bauperioden und Bauweisen. In der Abbildung 3.14 ist ein Ausschnitt aus dem Handbuch ersichtlich.

2. ERDANLIEGENDE WÄNDE





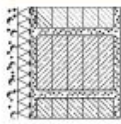
Skizze	Beschreibung	Baualter von – bis	Gesamtdicke ca. [m]	U-Wert [W/m ² K]	Skizze	Beschreibung	Baualter von – bis	Gesamtdicke ca. [m]	U-Wert [W/m ² K]
	Massivbeton oder Schwerbetonsteine, mit oder ohne Verputz	1950-1980	0,25	4,0		Naturstein, mit oder ohne Verputz	– 1900	0,50 0,75 1,00 1,50	2,70 2,00 1,60 1,10
	Vollziegel, mit oder ohne Verputz	1950-1960	0,50 0,68	2,0 1,5		Leichtbetonhohlstein, Verputz, Feuchtigkeitsanstrich	1960-1980	0,34	1,40
	Leichtbetonhohlstein, Verputz, Feuchtigkeitsanstrich, Perimeterdämmung 5 cm	1990-2000	0,40	0,45					

Abbildung 3.14: Auszug aus dem Handbuch für Energieberatung - Erdanliegende Wände

3.6 Zusammenfassung

Jedes Objekt der Versuchsreihe wurde nach dem gleichen Schema aufgenommen. Das Gebäude wurde abgemessen und die verschiedenen Bauteile, Fenster, Türen und die Haustechnik wurden aufgenommen. Pläne und Aussagen des Hausherrn wurden notiert und verglichen. Bei Abweichungen wurde Gemessenes priorisiert. Der zweite Schritt war die Eingabe des Gebäudes in das Computerprogramm GEQ und die Definition der Nutzerprofile und Bauweisen. Weiters wurden die Default-Werte aus HfE und OIB6 herangezogen und im Energieausweis mit den Werten aus dem detaillierten Schichtaufbau ausgetauscht. Die so entstandenen Energieausweise wurden abgelegt und die Endenergiebedarfs-Werte für den weiteren Vergleich herausgeschrieben.

4 Berechnung

Wie in Kapitel 3 beschrieben, werden in diesem Kapitel die einzelnen Objekte aufgenommen und ausgewertet. Dabei spielt die Anzahl der Objekte eine entscheidende Rolle bei der Aussagekraft der Anfangshypothesen. Verschiedene subjektive Faktoren, wie Lebensgewohnheit oder Nutzungsgrad der Gebäude, können nicht genau erfasst und beurteilt werden, wobei deren Einfluss durch die Anzahl der Objekte verschmälert wird. Weiters ist ein Vergleich der verschiedenen Berechnungen der Energieausweise möglich. In diesem Kapitel werden die einzelnen Objekte ausgewertet und es wird im Speziellen anhand von Objekt Nr° 1 auf die verschiedenen Eigenschaften eines Hauses eingegangen.

Übersicht der Versuchsreihe

Die Versuchsreihe besteht aus 23 Wohngebäuden. Es wurden folgende verschiedene Nutzungsprofile aufgenommen:

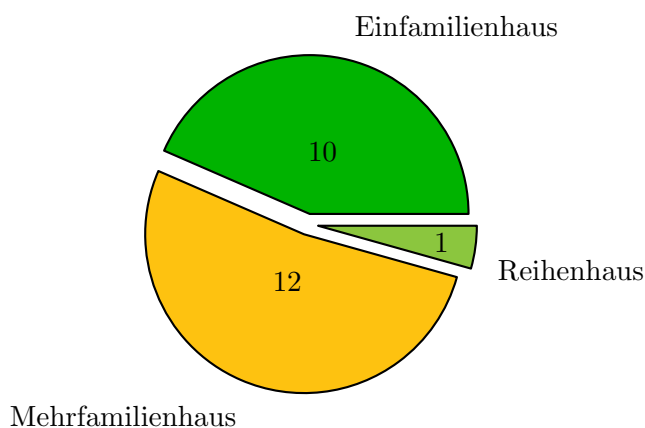


Abbildung 4.1: Nutzungsprofile

20 Gebäude befinden sich in der Steiermark, 2 in Salzburg und eines in Bayern. Das Objekt Nr° 14 liegt in Bayern, 19 km von der österreichisch-deutschen Grenze entfernt. Zur einheitlichen Berechnung wurde für den Energieausweis die naheliegende Gemeinde Schardenberg in Oberösterreich ausgewählt.

Die Bauweisen wurden wie folgt eingestellt:

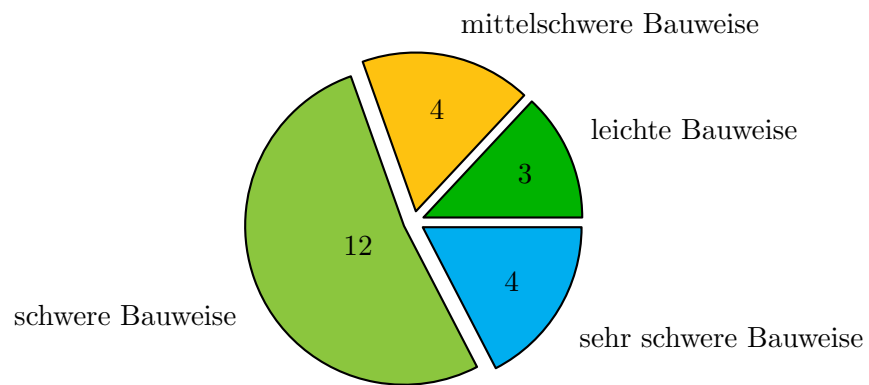
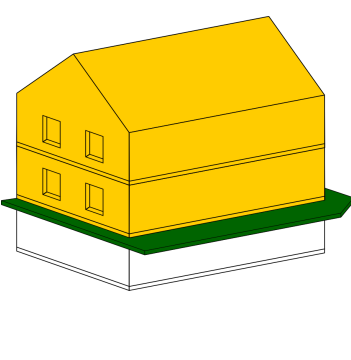


Abbildung 4.2: Ausgewählte Bauweisen in den Energieausweisen

4.1 Objekt Nr° 1

Standort	Großklein (Steiermark)	
Meereshöhe [m]	382	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	303	
Baujahr	1991	
Haustechnik	Hackschnitzl + Photovoltaik, Radiatoren	

Dieses Haus wurde 1991 in Großklein (Steiermark) großteils in Hochlochziegelbauweise gebaut. Die Südseite wurde aus Vollholz mit 5 cm Mineralfüllung auf der Innenseite ausgeführt. Das Kellergeschoss ist gedämmt und nicht konditioniert und daher nicht U-Wert bzw. Energiebilanz relevant. In der darunterliegenden Abbildung 4.3 sieht man die realen Verbrauchswerte (—) aus zwölf Jahren. Bis zum Jahr 2008 lebten sechs Bewohner im Einfamilienhaus, wodurch ein höherer Verbrauch erreicht wurde. Ab dem Jahr 2009 reduzierte sich die Anzahl der Bewohner auf vier. Im Sommer des Jahres 2013 wurde die Photovoltaikanlage installiert. Die Reduktion beginnt hier mit Jahresanfang, da die Funktion deterministisch ist. Die theoretischen Vergleichswerte (Schichtaufbau, OIB6 und HfE) beziehen sich auf den Realverbrauch (Realwert) von 2018. Ein wichtiger Faktor, welcher nicht in die Berechnung des Energieausweises mit einfließt, ist die Lage des Hauses, welches auf der Südseite einer Anhöhe liegt (Abbildung 4.5).

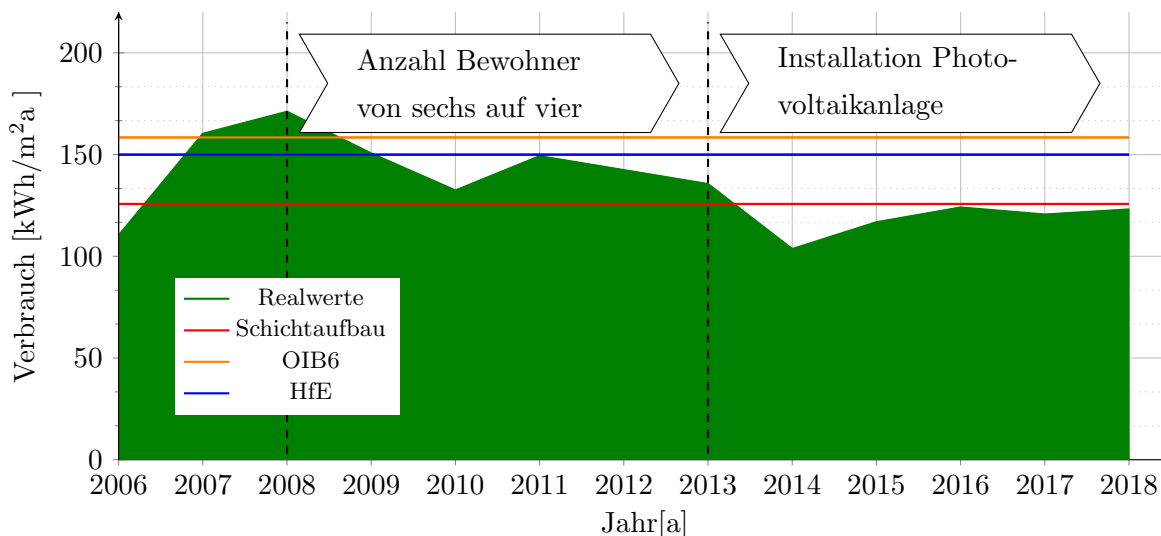


Abbildung 4.3

Das Primäräquinoktium (Tag-Nachtgleichheit) für diesen Ort ist am 20. März um 04:49 CET. Dieser Tag wird als Durchschnittstag im Jahr beschrieben. Anhand der Grafik soll die

Relevanz des Standortes dargestellt werden. Der horizontale Einstrahlungswinkel am Stichtag beträgt 171° . Durch die sonnenexponierte Lage hat das Haus von 6:16 Uhr bis 18:00 Uhr direkte Sonneneinstrahlung. Den Verlauf der Sonne kann man in der Abbildung 4.4 ablesen.

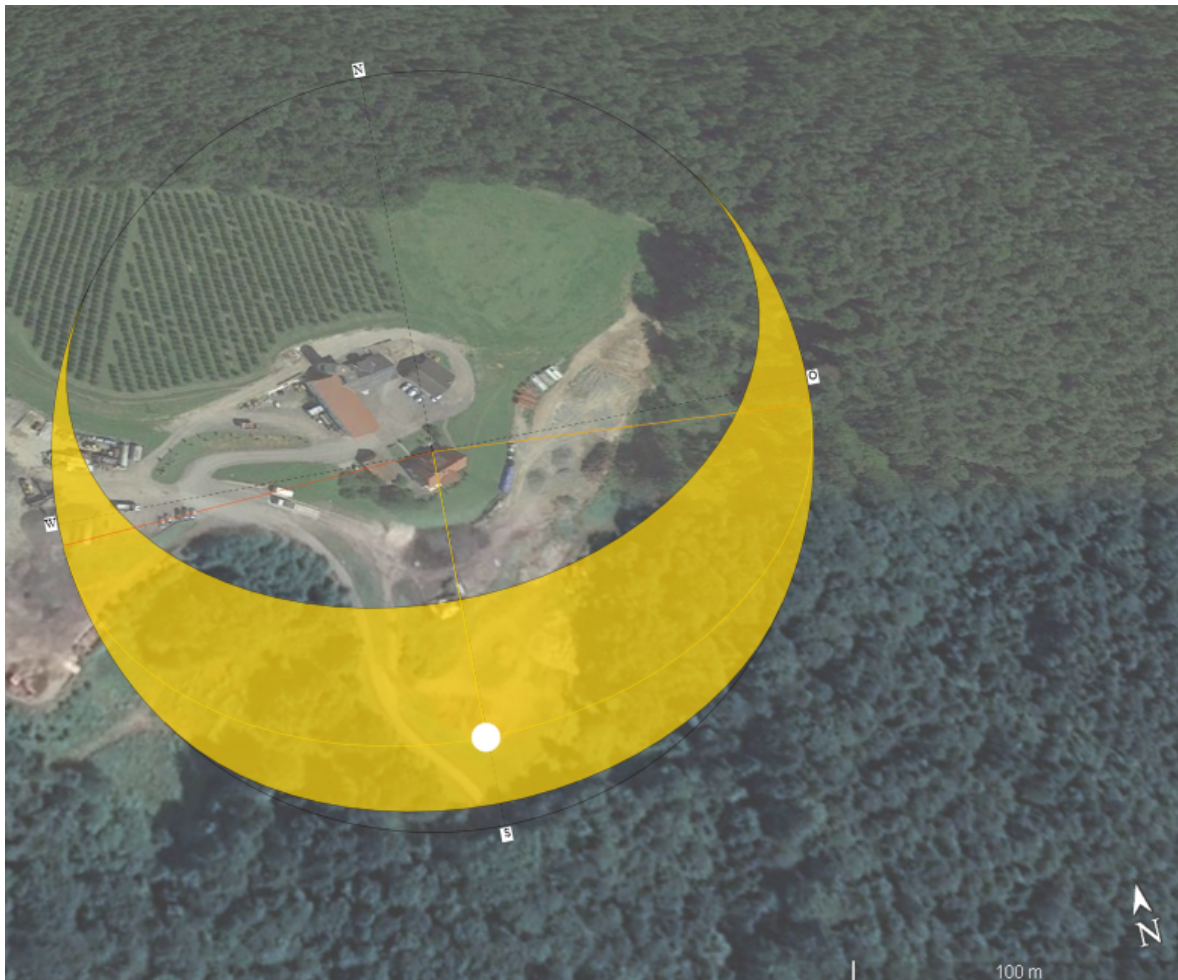


Abbildung 4.4: Verlauf der Sonne am Stichtag 20. März

In der Abbildung 4.4 wird der Verlauf der Sonne am Stichtag (20. März) grafisch dargestellt. Die Berechnung stammt von [19] sonnenverlauf.de. Auf diesem Orthophoto kann man auch die freien Flächen um das Objekt und die Bewaldung erkennen. Die Bäume haben zu keiner Jahreszeit oder Tageszeit einen Einfluss auf die Belichtung des Gebäudes.

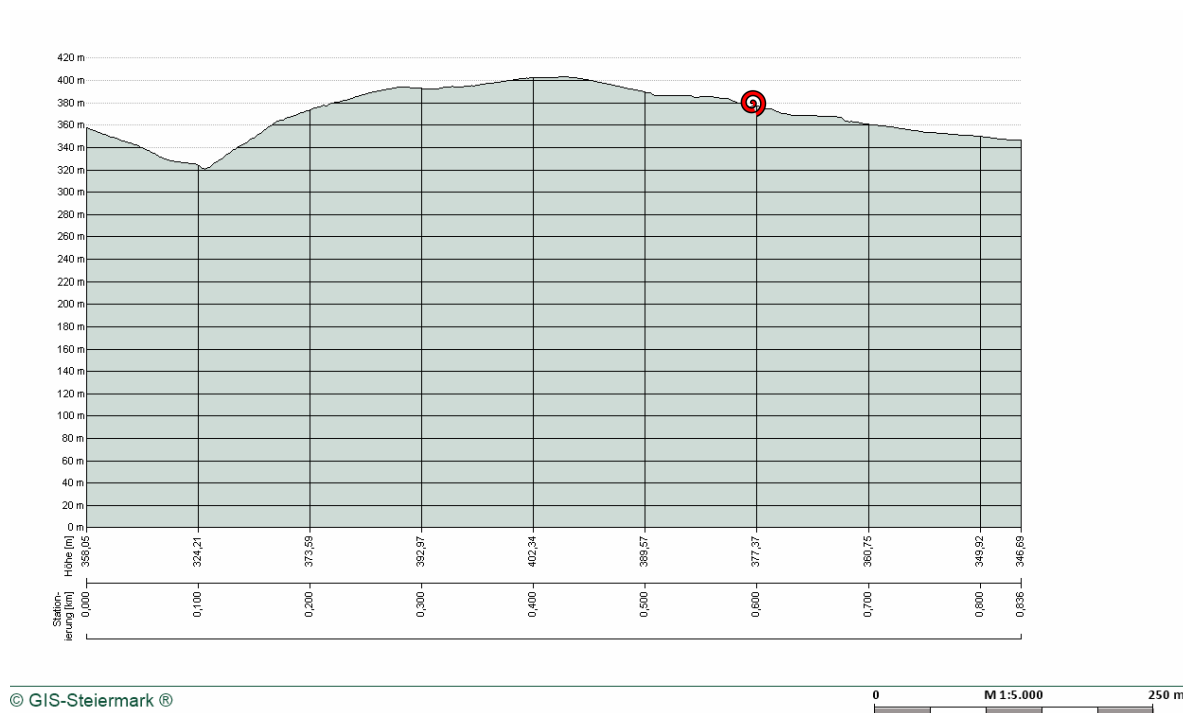


Abbildung 4.5: Höhenprofil von Norden nach Süden

In dieser Grafik kann man die Position des Hauses auf der Anhöhe ablesen. Die Höhenlinie verläuft (von links nach rechts) von Norden nach Süden. Die südliche Hanglage des Hauses ist ein positiver Faktor für die Energiebilanz. In der Abbildung 4.6 wird die Südwestecke des Hauses abgebildet. Dabei ist die gesamte Südseite in Blockbauweise ausgeführt. Das hat eine gute Wärmedämmung bei dünner Bauweise zur Folge.



Abbildung 4.6: Südwestseite des Hauses

Sonnengang mit Horizontdarstellung

Abfragekoordinaten (EPSG:32633): 531539.84, 5176155.89
 Abfragehöhe (m): 385.3 (+2.0)
 Abfragezeit: 15.6.2020, 9:51 Uhr (Sonnenaufgang 5:57 Uhr, Sonnenuntergang 20:19 Uhr)
 Datengrundlage: Laserscanning Höhenmodell 2019 - geoland.at
 Befliegungsjahr im Abfragepunkt: 2010

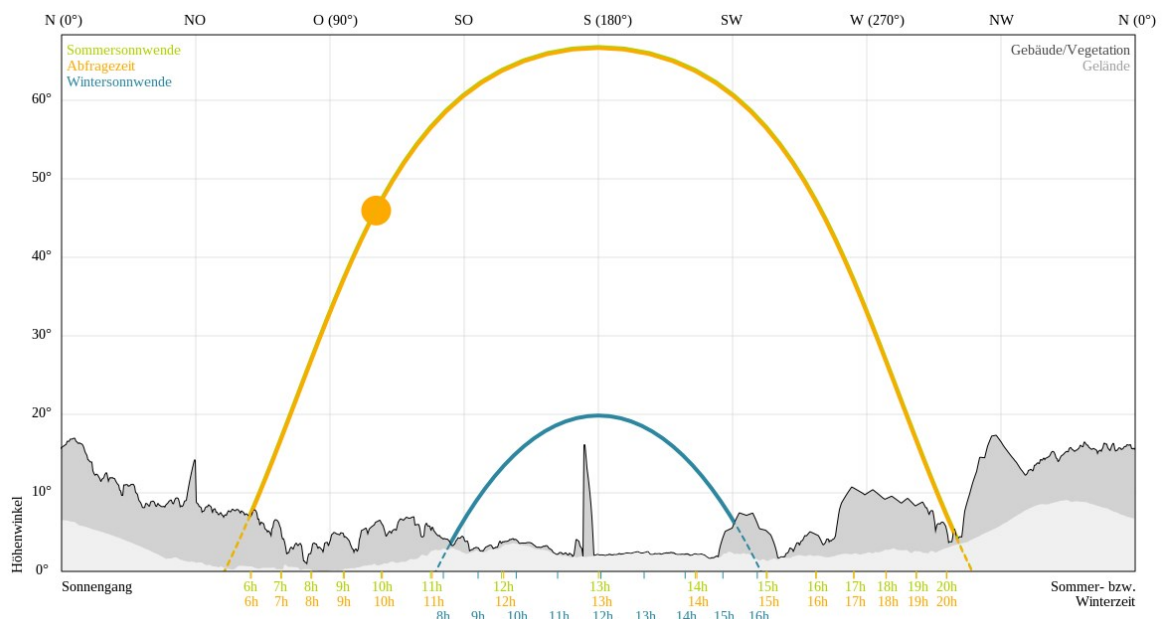


Abbildung 4.7: Sonnengangberechnung [6]

In Abbildung 4.7 sieht man den Verlauf der Sonne für die zwei Maxima Sommersonnenweden (grün) und Wintersonnenweden (blau) sowie für einen Stichtag (gelb). In hellgrau wird die Geländekante und in dunkelgrau die sichtbare Objektkante beschrieben. Der Bezugspunkt ist wie in Abbildung 4.4 das Zentrum des Gebäudes auf einer Abfragehöhe von ca. 380 m ü.A. und einer Höhe über Boden von 2 m. Aus diesem Blickwinkel wird eine vollständige Umdrehung im Diagramm dargestellt (von Norden nach Norden).

In weiterer Folge ergibt sich eine Sonnenscheindauer von 7,7 bis 14,3 Stunden über das Jahr (Abbildung 4.8).

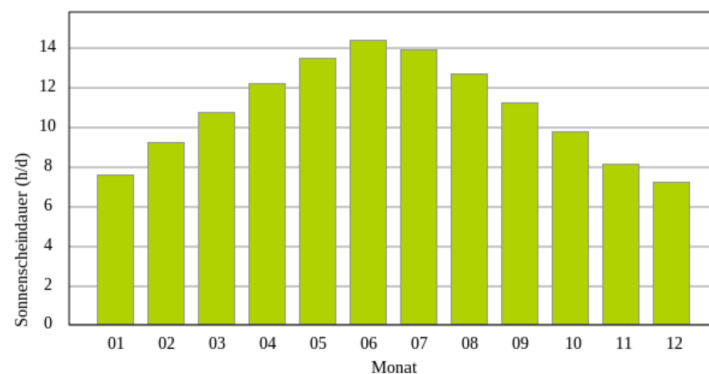


Abbildung 4.8: Sonnenstunden pro Tag im Monatsmittel [6]

Übersicht der Bauteile

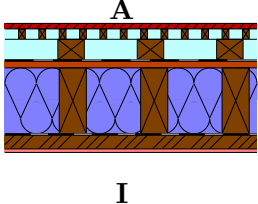
Die Bauweise hat maßgeblichen Einfluss auf den Wärmedurchgangskoeffizienten des Gebäudes. Daher werden hier die einzelnen Bauteile der Außenhülle des Gebäudes 4.1 aufgelistet und beschrieben.

Tabelle 4.1: Decke zu unconditioniertem geschlossenem Dachraum

Bauteilbezeichnung				
Decke zu unconditioniertem geschloss. Dachraum				
Wärmeoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946				
U-Wert	0,2 [W/m²K]			
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	λ	Anteile
Nr.	Bezeichnung von außen nach innen	Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/mK]	[%]
1	Holzschalung (ÖNORM B 8110-7)	0,024	0,120	
2	Nutzholz (475kg/m ³ -Fi/Ta)		0,120	15,0
	Steinwolle MW(SW)-W (60 kg/m ³)	0,160	0,040	85,0
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	0,020	0,130	
4	Nutzholz (475kg/m ³ -Fi/Ta)		0,120	8,3
	Steinwolle MW(SW)-W (60 kg/m ³)	0,050	0,040	91,7
5	Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	0,013	0,250	
Dicke des Bauteils [m]		0,247		

Die abschließende Decke zum Spitzboden wird in dieser Tabelle aufgelistet. Der Aufbau entstammt aus der Bestandsaufnahme vor Ort und ist deckungsgleich mit den Polierplänen des Bauherren.

Tabelle 4.2: Dachschräge hinterlüftet

Bauteilbezeichnung Dachschräge hinterlüftet				
Wärmeoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 U-Wert 0,15 [W/m²K]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	Anteile	λ
Nr.	Bezeichnung von außen nach innen	Dicke [m]	[%]	Leitfähigkeit _[W/mK]
1*	Tondachziegel (ÖNORM B 3419)	0,020		1,000
2*	Dachlattung 38/58 e|40 cm	0,038	38,7	0,120
	Luft (ÖNORM B 8110-7)		61,3	0,250
3*	Konterlattung 75/75	0,075	15,0	0,120
	Luft (ÖNORM B 8110-7)		85,0	0,469
4	Unterdachbahn (ÖNORM B 3661)	0,0004	8,3	0,500
5	Holzschalung (ÖNORM B 8110-7)	0,024		0,120
6	Sparren lt. stat. Erf. e|100 cm	0,240	12,0	0,120
	MW(SW)-W (ÖNORM B 6000)		88,0	0,040
7	PE-Folie LD (ÖNORM B 8110-7)	0,0002		0,330
8	Holz-Unterkonstruktion	0,050	9,1	0,120
	MW(SW)-W (ÖNORM B 6000)		90,9	0,040
9	Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	0,013		0,250
wärmetech. relevante Dicke des B. [m]		0,327		
Dicke des Bauteils [m]		0,460		

*gehört nicht zum U-Wert

Gleiches wie bei der Decke zum Spitzboden gilt auch für die Dachschräge. Mehrere Nebengiebel und Gaupen sind in dieses opake Bauteil eingebaut. Die Details sind bautechnisch korrekt ausgeführt. Im Dachraum sowie im beheizten oberen Stock wurden keine Feuchtschäden festgestellt und die Messung mit dem Feuchtemessgerät bestätigt die augenscheinlichen Feststellung.

Tabelle 4.3: Decke zu unconditioniertem ungedämmten Keller

Bauteilbezeichnung Decke zu unconditioniertem ungedämmten Keller				
Wärmeoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946				
U-Wert	0,32 [W/m²K]			
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	λ	R=d/λ
Nr.	Bezeichnung von innen nach außen	Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/mK]	Durchlaßwiderstand [m ² K/W]
1	Parkett (ÖNORM B 8110-7)	0,020	0,120	0,167
2	Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m ³)	0,040	1,330	0,030
3	PE-Folie LD (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	0,001
4	Steinwolle MW(SW)-T (130 kg/m ³) (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,039	0,769
5	Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	0,030	0,700	0,043
6	Stahlbeton 2 (ÖNORM B 8110-7)	0,180	2,500	0,072
7	EPS-W25 (ÖNORM B 8110-7 & B 6000)	0,060	0,036	1,667
8	Klebespachtel + Textilglasgitter (ÖNORM B 6400-1)	0,005	0,910	0,005
9	Silikatputz (ÖNORM B 6400-1)	0,002	0,910	0,002
Dicke des Bauteils [m]		0,367		

Die Kellerdecke erstreckt sich über die gesamte Grundfläche. Durch die Lage im Hang ist die Südseite nicht erdberührt und die Nordseite sockelhoch (30cm) über der Geländehöhe. Da der Keller nicht beheizt ist, gilt diese Decke als Außenhülle für die U-Wert Berechnung.

Tabelle 4.4: Außenwand Holz

Bauteilbezeichnung Außenwand Holz				
Wärmeoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 U-Wert 0,39 [W/m²K]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	λ	Anteile
Nr.	Bezeichnung von außen nach innen	Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/mK]	[%]
1	Vollholz	0,160	0,160	
2	Winddichtung	0,0006	0,220	
3	Lattung dazw.	0,050	0,120	3,8
	Mineral MW-PT 10, 5 cm		0,036	96,3
4	PE-Dampfbremsfolie Klasse	0,0003	0,500	
5	Gipskartonplatten	0,013	0,210	
Dicke des Bauteils [m]		0,223		

Die Außenwand wird in zwei Bereiche unterteilt. Der nördliche Teil wird als Ziegelbauweise ausgeführt und der südliche als Holzblockbauweise. In der Skizze ist der Bereich aus Ziegelbauweise in rot markiert und jener in Blockbauweise in braun.

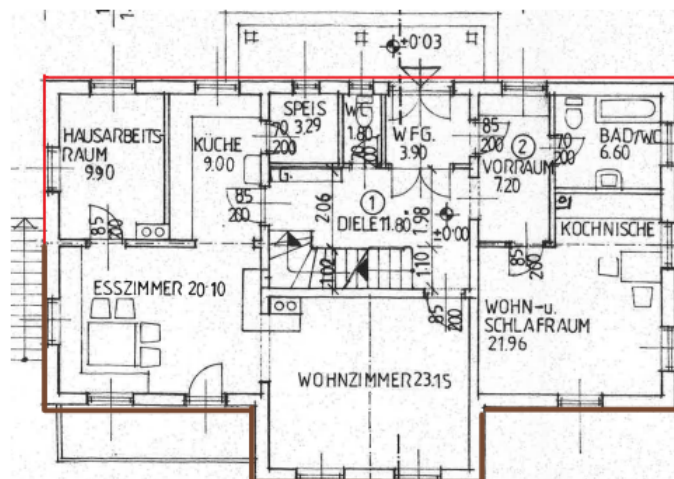
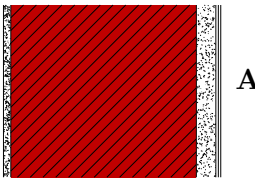


Abbildung 4.9: Skizze Erdgeschoße mit unterschiedlichen Bauteilaufbauten der Außenwand

Tabelle 4.5: Außenwand Ziegel

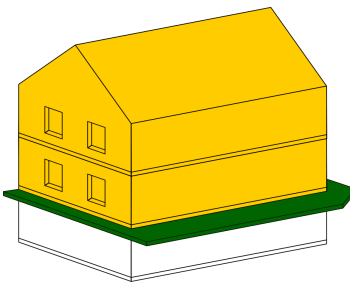
Bauteilbezeichnung Außenwand Ziegel				
Wärmeoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946				
U-Wert 0,29 [W/m²K]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	λ	R=d/λ
Nr.	Bezeichnung von innen nach außen	Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/mK]	Durchlaßwiderstand [m²K/W]
1	Normalputzmörtel GP Kalkzement (1700 kg/m³)	0,015	0,910	0,016
2	Hochlochziegel	0,380	0,130	2,923
3	Wärmedämmputzmörtel T EPS (450 kg/m³)	0,040	0,120	0,333
4	Klebespachtel + Textilglasgitter	0,005	0,910	0,005
5	Silikatputz	0,002	0,910	0,002
Dicke des Bauteils [m]		0,442		

	HWB [kWh/m²a]	PEB [kWh/m²a]	CO ₂ [kg/m²a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 66.9	C 171.2	A 10.2	C 0.97
HfE	C 84.3	C 197.6	A 10.4	C 1.14
OIB6	C 91.3	C 208.3	A 10.4	C 1.21

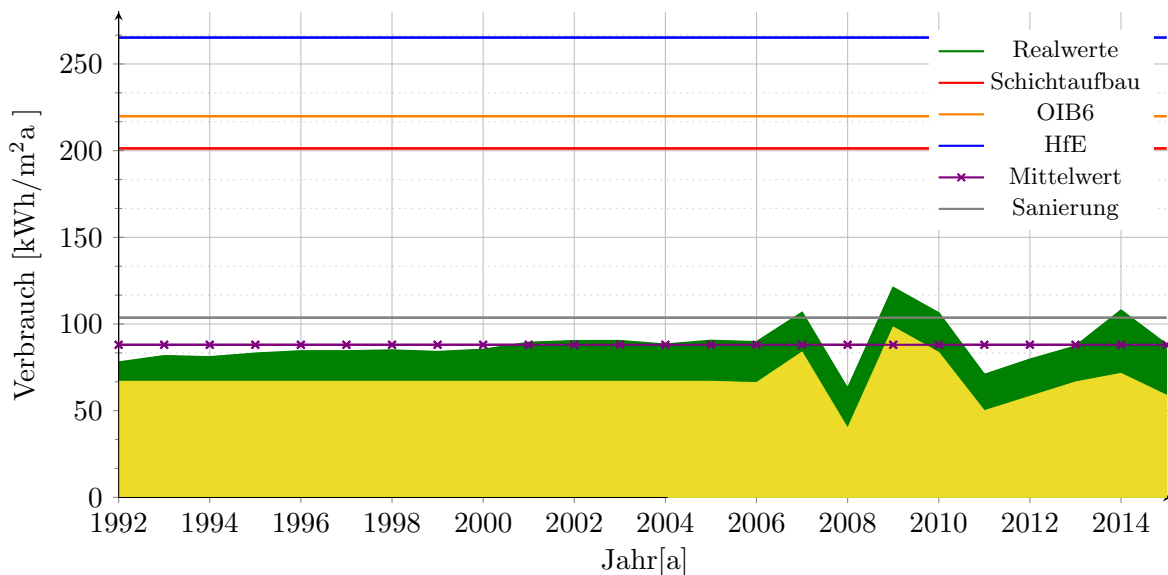
Tabelle 4.6: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 1

Diese Tabelle fasst die Ergebnisse des Energieausweises und dessen Klassifizierung zusammen. Bedingt durch verschiedene U-Werte und g-Werte, weichen die Werte der drei Berechnungsmodelle in den vier Kategorien HWB, PEB, CO₂ und f_{GEE} ab. Entscheidende Veränderungen oder ein Sprung in der Klassifizierung (Klassen: A, B, C, D, E, F, G) ist bei diesem Objekt nicht ersichtlich.

4.2 Objekt Nr° 2

Standort	Lieboch (Stk)	
Meereshöhe [m]	342	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	280	
Beheizte Geschoße	2	
Baujahr	1986	
Haustechnik	Heizöl extraleicht, Luft-Wasser Wärmepumpe, Radiatoren	

Dieses Haus ist ein mittelgroßes Einfamilienhaus in ländlicher Lage. Es ist sonnenexponiert und erfährt keine Verschattung von umliegenden Häusern. Im Jahr 2009 erfolgte der Zubau einer Garage und eine Sanierung des Daches.



	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	D 124.4	D 272	F 61.4	D 1.7
HfE	E 174.3	F 351.9	G 81.2	D 2.12
OIB6	D 138.7	E 273.7	F 67.1	D 1.84

Tabelle 4.7: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 2

Bei diesem Objekt ist ein Sprung der Energieklasse ersichtlich. Die Berechnung durch das Modells HfE hat eine Degradierung des Hauses um eine Klasse zur Folge. Die HWB-Klasse sinkt von Klasse D auf Klasse E, die Primärenergiebedarfs-Klasse springt von D auf F und

die CO₂-Klasse sinkt von F auf G.

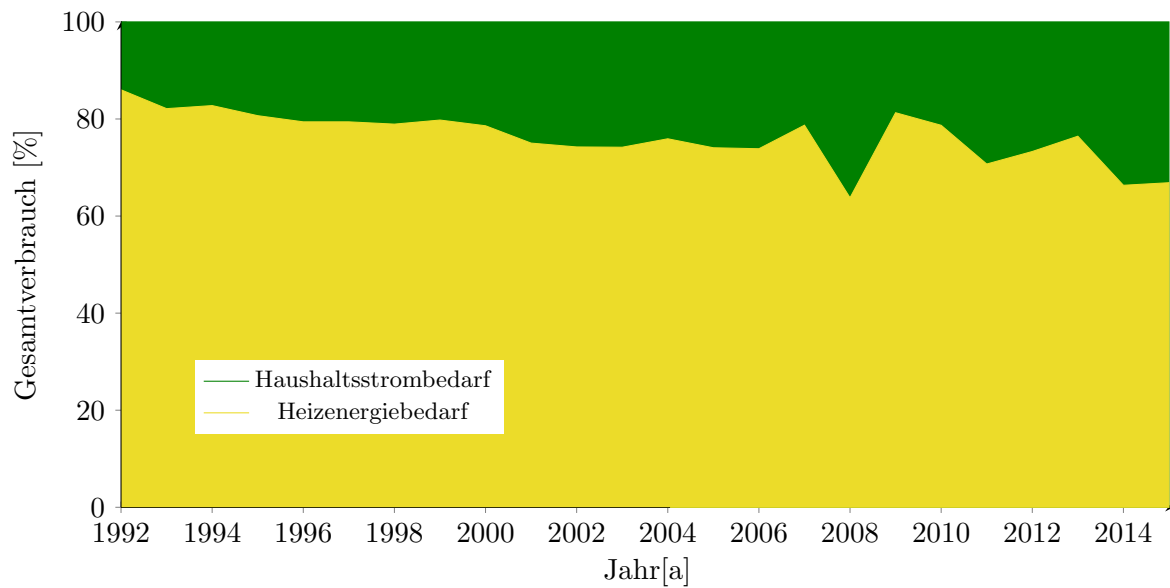
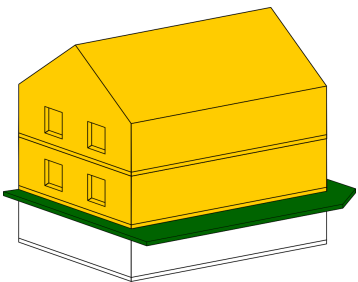


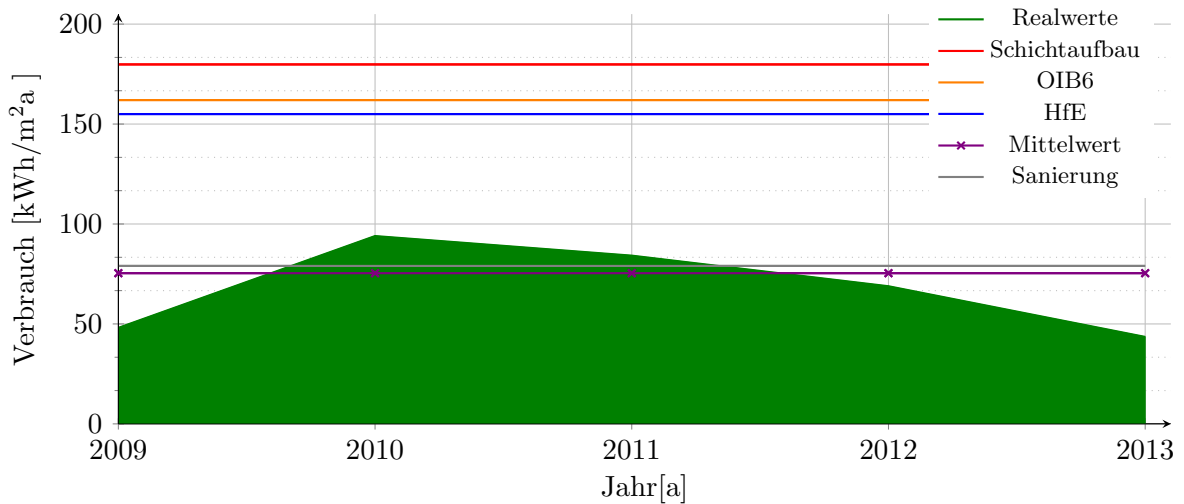
Abbildung 4.10: Gestapelter Verbrauch

Die gelbe Fläche ist der Heizungsanteil des realen Energieverbrauchs. Anhand der Differenz zwischen dem Realwert, welcher Heizverbrauch und Stromverbrauch beinhaltet, und dem Heizverbrauch lässt sich ein klarer Anstieg des Stromverbrauches erkennen. In Abbildung 4.10 sieht man den Anstieg des Stromverbrauches in Proportion zum Gesamtverbrauch. Dabei wird ersichtlich, dass der Stromenergieanteil von 14% im Jahre 1992 auf 33% im Jahre 2015 gestiegen ist.

4.3 Objekt Nr° 3

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	369	
Bauweise	mittelschwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	1106	
Beheizte Geschoße	5	
Baujahr	1700	
Haustechnik	Stromheizung, WW elektrisch beheizt	

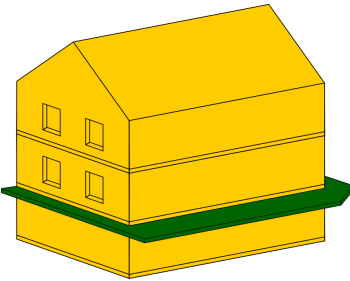
An diesem Objekt wurde 2008 eine Sanierungsstudie erstellt und ein Jahr später durchgeführt. Klar erkennbar, die Annahme des Energieverbrauchs des Bestandsgebäudes von 2008 in der darunterliegenden Grafik in Rot gekennzeichnet — und die energetische Neubewertung in Grau —. Die Sanierung bewirkte eine maßgebende Reduktion des theoretischen Heizwärmebedarfs. Das Heizsystem wurde von Stromheizung auf Fernwärme umgestellt. In der Praxis hat sich -unter Beachtung der unvollständigen Werte im Jahr 2009 und 2013- vor Sanierung ein HWB-Mittelwert von 82 kWh/m²a eingestellt. Die tatsächliche Verbesserung des Energieverbrauchs muss auf einen längeren Zeitraum untersucht werden, da das Objekt nicht dauerhaft voll belegt ist.

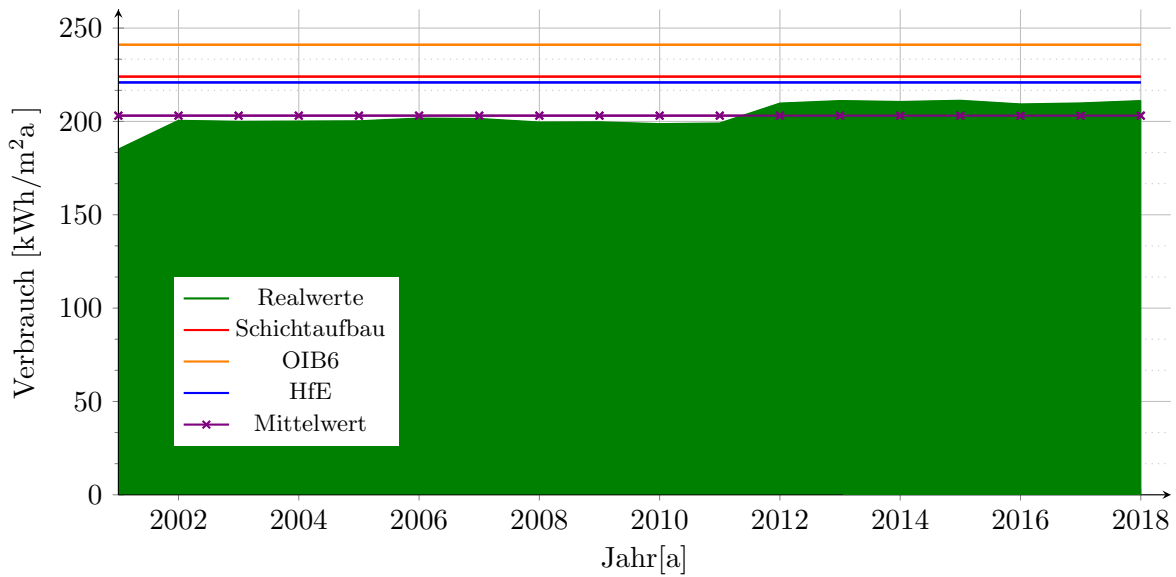


	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	D 141	E 329.7	G 78.7	D 1.83
HfE	D 140.2	E 300.2	G 71.3	C 1.69
OIB6	D 130.9	E 287.9	F 68.3	C 1.61

Tabelle 4.8: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 3

4.4 Objekt Nr° 4

Standort	Deutschlandsberg (Stk)	
Meereshöhe [m]	404	
Bauweise	leichte Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	279	
Baujahr	1991	
Haustechnik	Heizöl leicht + Solaranlage, Radiatoren	



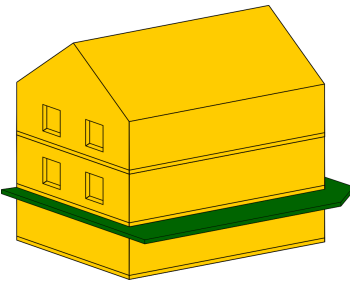
Hierbei handelt es sich um ein Fertigteil-Holzbau-Wohnhaus. Es liegt auf einer Anhöhe in südwestlicher Richtung.

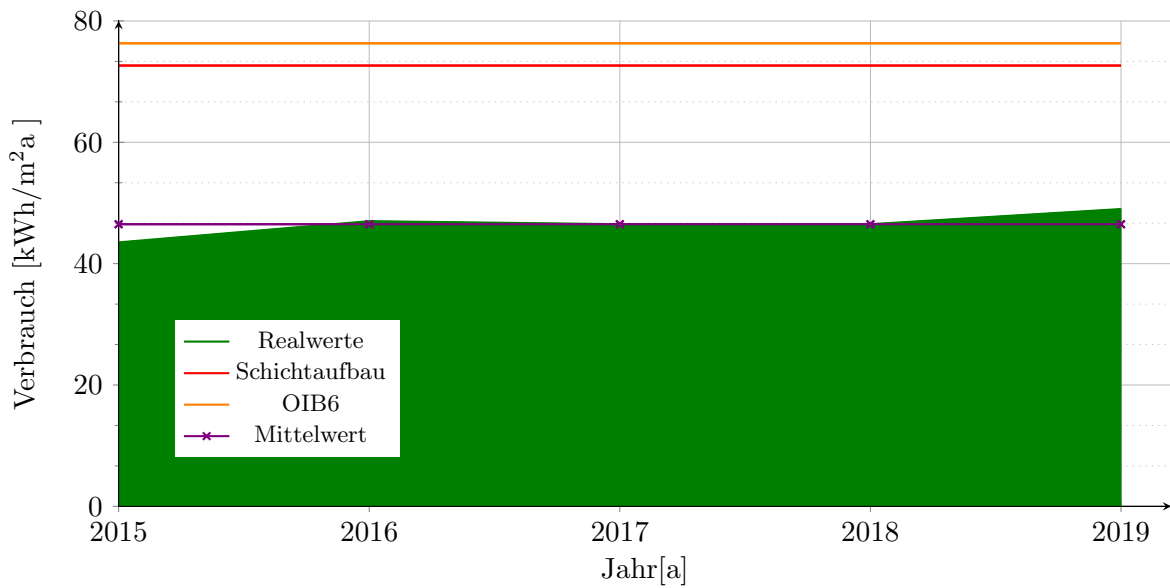
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 55.8	E 291.9	F 69	D 1.83
HfE	C 53	E 287.6	F 67.9	D 1.8
OIB6	C 69.5	E 312.8	G 74.1	D 1.97

Tabelle 4.9: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 4

Der Sprung der CO₂-Klasse von F auf G ist durch die Werte nahe der Klassengrenzen bedingt. Obwohl kein nennenswerter Unterschied ($\approx 9\%$) vorliegt, verändert sich die Klasse.

4.5 Objekt Nr° 5

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	345	
Bauweise	mittelschwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus Teilbereich	
BGF [m ²]	63	
Baujahr	2014	
Haustechnik	Gas Brennwertkessel, Flächenheizung	



Aufgrund des Baujahres sind keine vergleichbaren Werte aus dem Handbuch für Energieberater vorhanden. Das Gebäude umfasst 56 Wohnungen. Der Energieausweis umfasst eine Wohnung im ersten Obergeschoß mit nordöstlicher Lage. Die Wohnung hat an drei Seiten Außenwände. In Abbildung 4.11 ist ein maßstabsgetreuer Plan der Wohnung.

	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	B 30.6	B 128.5	B 23.8	B 0.88
HfE				
OIB6	C 57.4	C 164.5	C 31.1	C 1.15

Tabelle 4.10: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 5

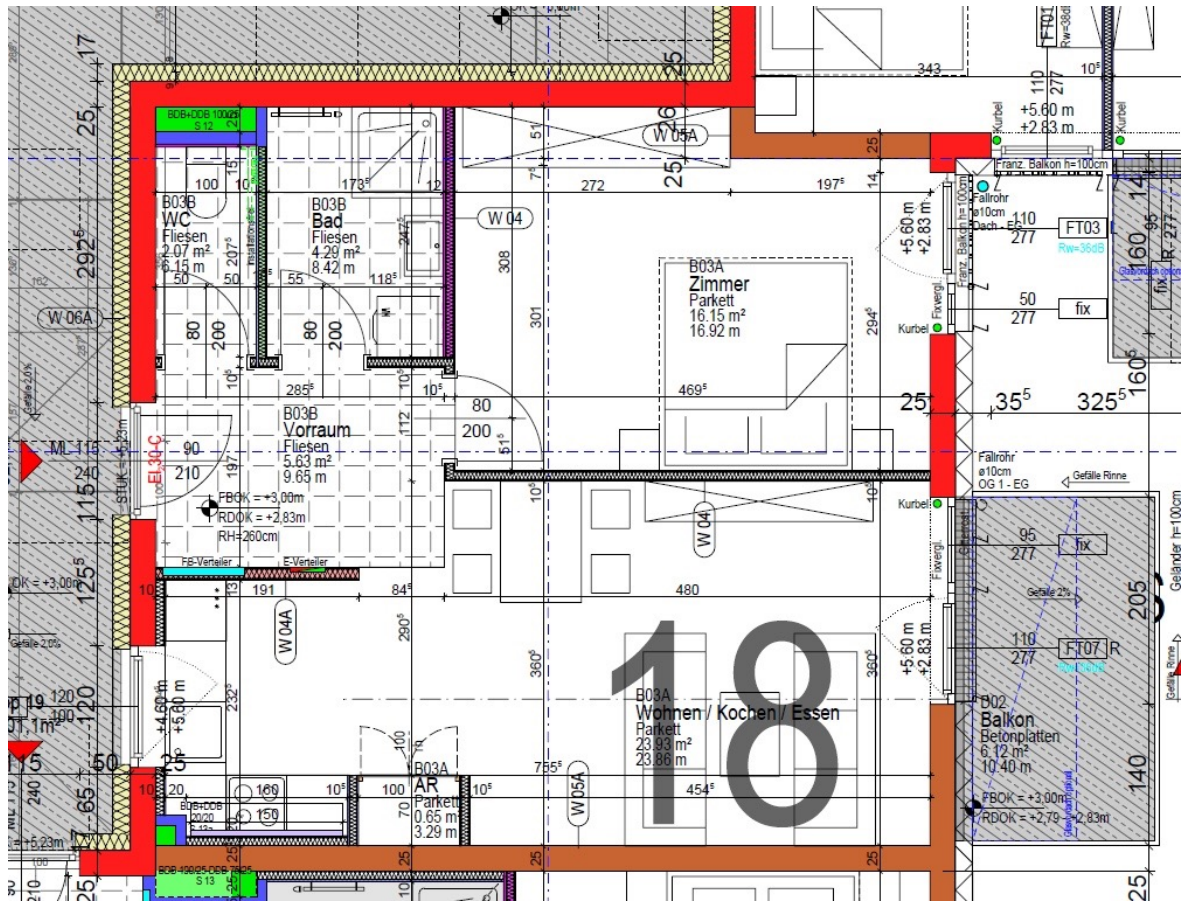
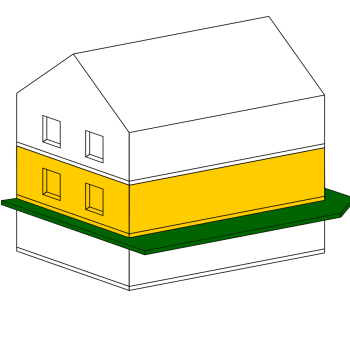
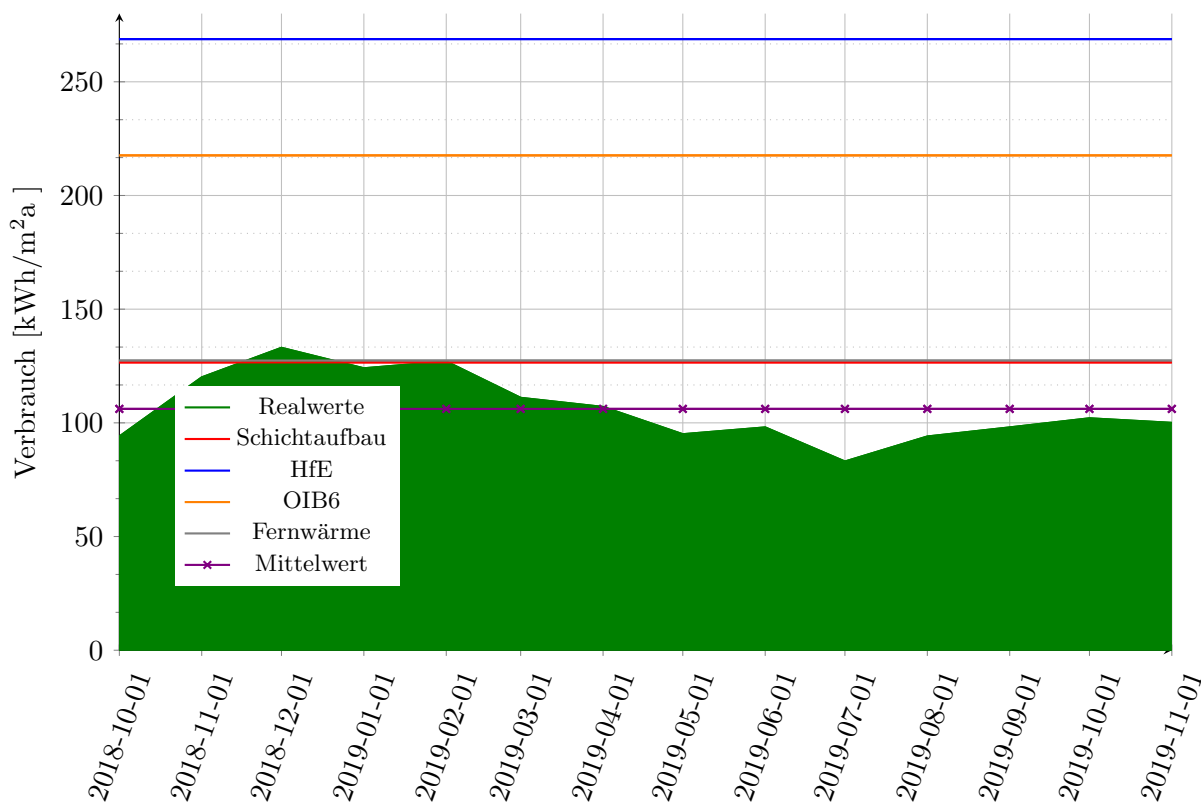


Abbildung 4.11: Plan des Bestandsgebäudes

4.6 Objekt Nr° 6

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	353	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	148	
Baujahr	1966	
Haustechnik	Stromheizung, Infrarotkollektor	

Dieses Gebäude steht in Graz/Wetzelsdorf. Die große Diskrepanz zwischen OIB6, HfE mit dem Schichtenaufbau ist dem Baujahr geschuldet. Das Objekt wurde mehrmals vom früheren Hausherrn in Eigenregie energetisch saniert. Da es keine Planung oder Bestätigung von Seiten des Bauherren gibt, wurden die Default-Werte laut Angabe eingetragen. Eine weitere Umrüstung ist in Planung. Das Haus soll an die Fernwärme angeschlossen werden.

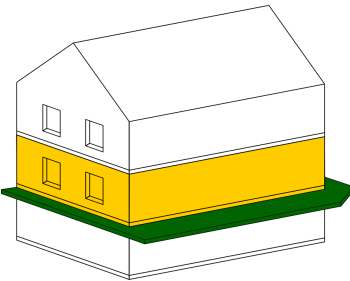


Bei diesem Haus ist ein markanter Sprung der Klassen ersichtlich. Dabei kann durch die Wahl des Berechnungsmodells eine Veränderung des Heizwärmebedarfs um drei Klassen von C auf F erfolgen. Der Heizwärmebedarf steigt dabei um mehr als 100% von 94 kWh/m²a auf 220 kWh/m²a. Derselbe Anstieg ist in den weiteren Kategorien PEB, CO₂ und f_{GEE} ersichtlich.

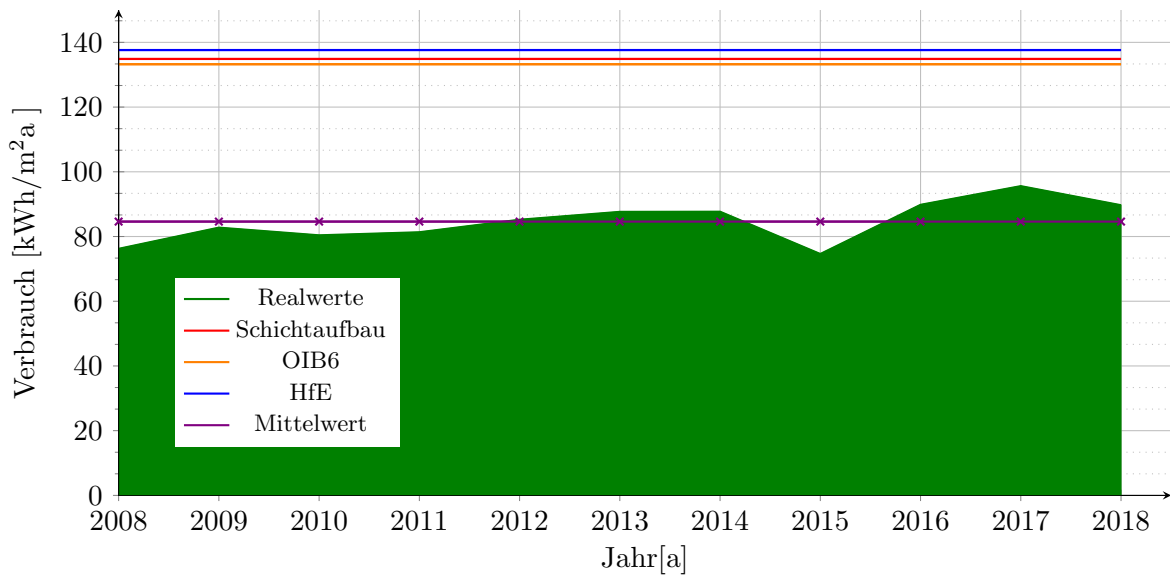
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 94.1	D 241.8	C 34.9	D 2.08
HfE	F 220.2	G 513.4	G 74.2	G 4.35
OIB6	E 185.3	G 415.7	F 60.1	F 3.52

Tabelle 4.11: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 6

4.7 Objekt Nr° 7

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	368	
Bauweise	sehr schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	101	
Baujahr	1900	
Haustechnik	Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar), Flächenheizung	

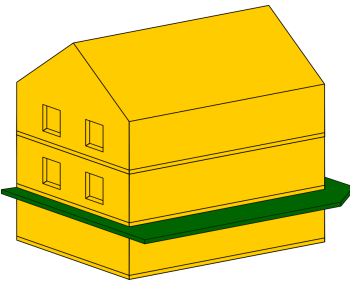
Dieses Gebäude steht im Zentrum von Graz. Es war ursprünglich ein Hofgebäude mit überdachten Parkmöglichkeiten und wurde 2008 renoviert und zu einem Wohnhaus umgerüstet.



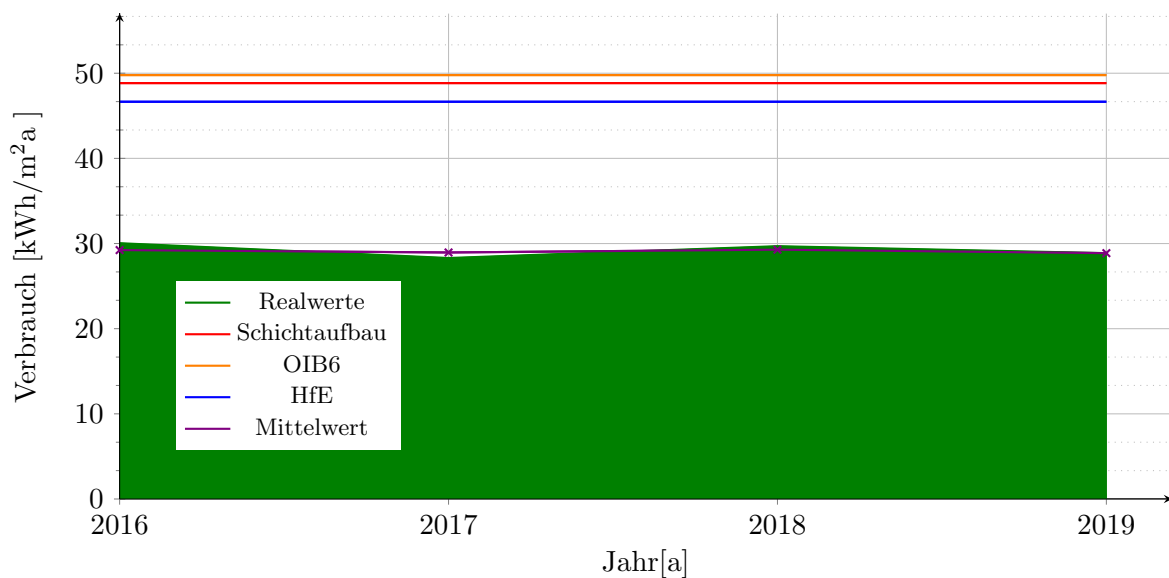
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 90.2	D 229.4	B 16.7	C 1.12
HfE	C 92.7	D 233.8	B 16.9	C 1.14
OIB6	C 88.8	D 226.7	B 16.7	C 1.11

Tabelle 4.12: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 7

4.8 Objekt Nr° 8

Standort	Eggersdorf (Stk)	
Meereshöhe [m]	405	
Bauweise	leichte Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	232	
Baujahr	2007	
Haustechnik	Wärmepumpe bivalent Sole/-Wasser, Flächenheizung	

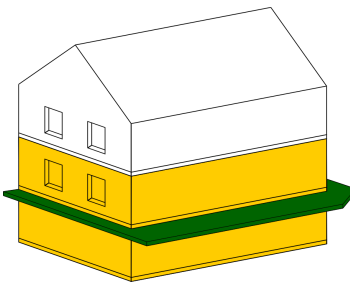
Dieses Haus steht in Eggersdorf in einer Wohnsiedlung auf einer kleinen Anhöhe. Es ist nach Süden ausgerichtet und sonnenexponiert. Durch die lichte Bebauung wirft kein Nachbargebäude Schatten. Das Objekt wird über eine Wärmepumpe (Sole/Wasser) beheizt.



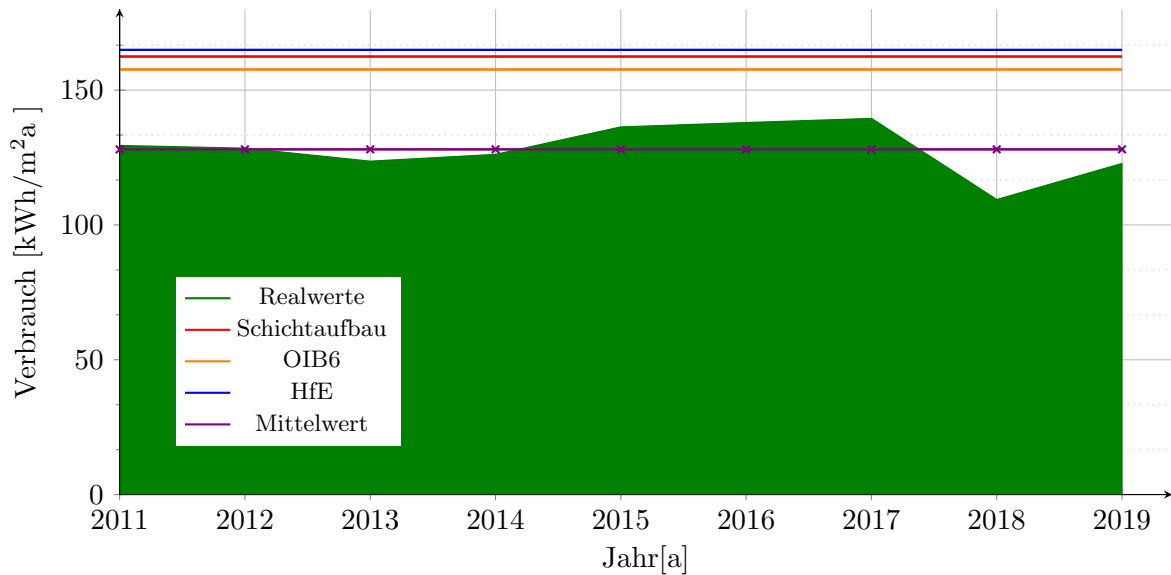
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 69	B 95.6	A 13.8	C 1.08
HfE	C 59.7	B 89.1	A 12.9	B 0.99
OIB6	C 68.4	B 95.1	A 13.7	C 1.08

Tabelle 4.13: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 8

4.9 Objekt Nr° 10

Standort	Wals-Siezenheim (Sbg)	
Meereshöhe [m]	446	
Bauweise	mittelschwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Reihenhaus	
BGF [m ²]	127	
Beheizte Geschoße	3	
Baujahr	2012	
Haustechnik	Gas Standardkessel, Radiatoren	

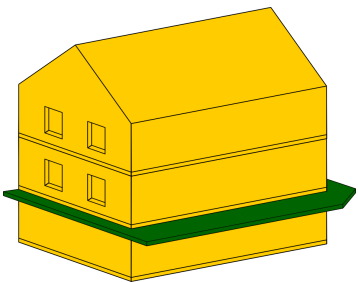
Dieses Objekt in Wals-Siezenheim (Sbg) ist ein Reihenhaus. Es liegt am nördlichen Rand der Häuserreihe und hat auf der Südseite eine Schnittstelle mit dem nächsten Haus. Die West-, Ost- und Nordseite des Hauses sind Außenwände.



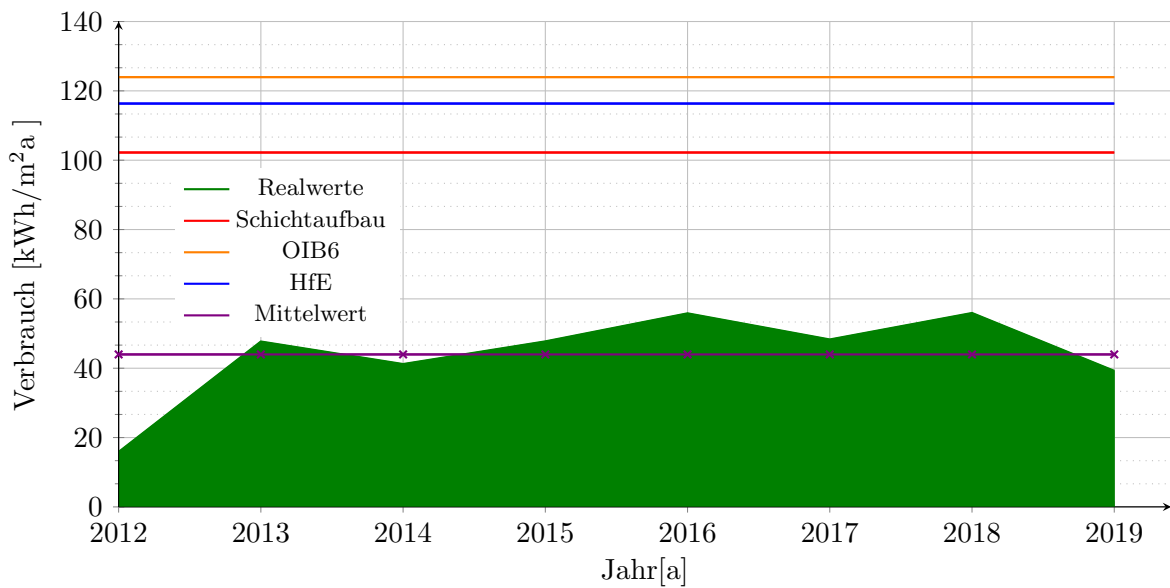
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 95.3	C 204.2	C 39.2	C 1.22
HfE	C 96.4	C 206.4	C 39.6	C 1.23
OIB6	C 90.3	C 201.6	C 38.7	C 1.19

Tabelle 4.14: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 10

4.10 Objekt Nr° 11

Standort	Stainz (Stk)	
Meereshöhe [m]	338	
Bauweise	leichte Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	295	
Beheizte Geschoße	3	
Baujahr	2010	
Haustechnik	Gas Niedertemperaturkessel, Flächenheizung, einzel Radiatoren	

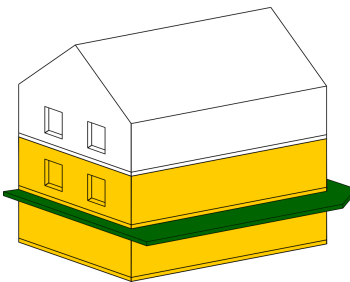
Hierbei handelt es sich um ein Einfamilienwohnhaus in Holzrahmenkonstruktion in ländlicher Lage. Die Beheizung des Gebäudes wird mit einem Gas Niedertemperaturkessel bewerkstelligt.



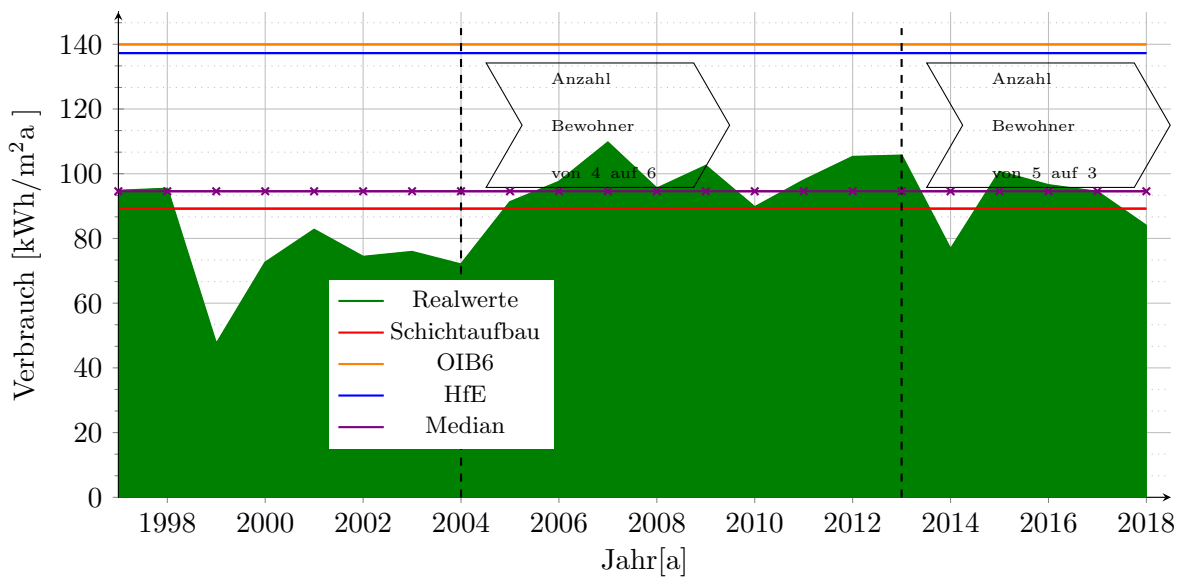
	HWB [kWh/m²a]	PEB [kWh/m²a]	CO ₂ [kg/m²a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	B 43.7	B 158.7	B 27	C 0.91
HfE	C 55	C 172.4	B 29.7	C 1.06
OIB6	C 64.5	C 186.3	C 32.5	C 1.16

Tabelle 4.15: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 11

4.11 Objekt Nr° 12

Standort	Salzburg-Gnigl (Sbg)	
Meereshöhe [m]	439	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	250	
Beheizte Geschoße	3	
Baujahr	1986	
Haustechnik	Gas Niedertemperaturkessel, Radiatoren, Kleinflächen beheizt	

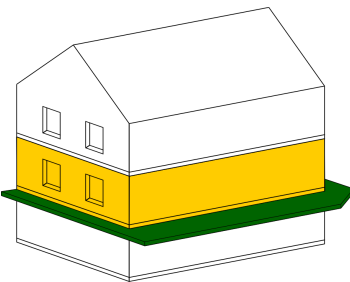
Dieses Mehrparteienhaus am nördlichen Rand von Salzburg wurde im Jahr 1986 gebaut und ist seither in der Außenhülle unverändert. Die starke Schwankung im realen Verbrauch ist den sich verändernden Personenzahlen in den Jahren geschuldet. Im Jahr 2004 wuchs die Anzahl der Bewohner von vier auf sechs an. Ende 2013 zogen zwei Personen aus dem Haushalt aus. In der Zwischenzeit fanden mehrere Wechsel statt, die jedoch nicht zeitlich eindeutig eingegrenzt werden konnten. Ebenso gab es 2007 einen Wechsel der Nachbarschaft und einen kurzen Zeitraum, in dem die Nachbarswohnung leer stand.



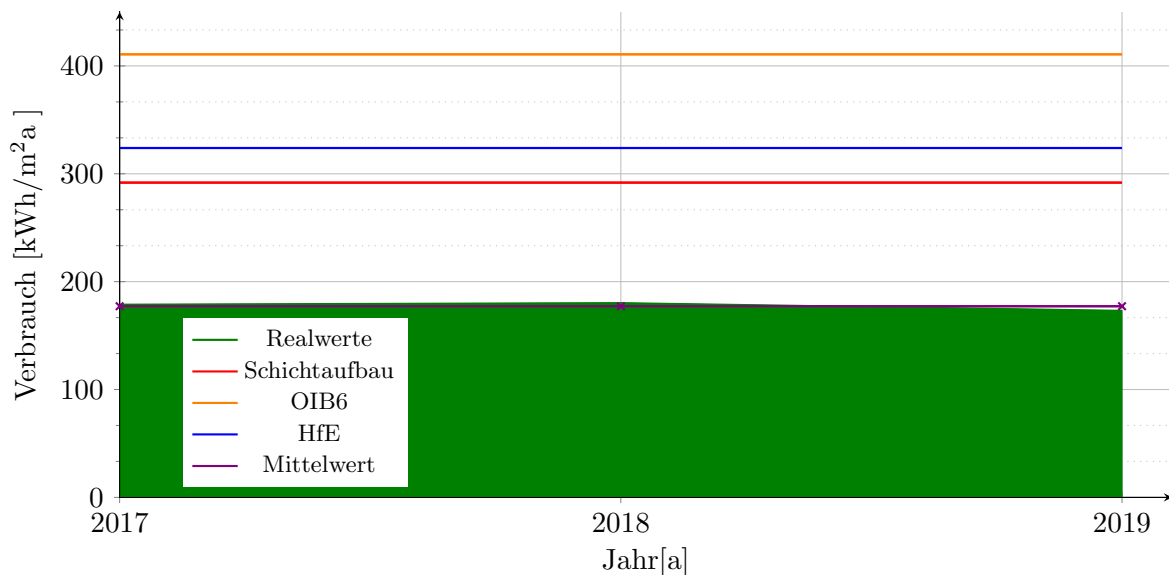
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	B 40.3	B 117.1	B 21.7	A 0.85
HfE	C 81.5	C 173.5	C 33.1	C 1.29
OIB6	C 83.8	C 176.6	C 33.7	C 1.31

Tabelle 4.16: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 12

4.12 Objekt Nr° 13

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	353	
Bauweise	sehr schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus, Teilbereich	
BGF [m ²]	40	
Baujahr	1867	
Haustechnik	Stromheizung	

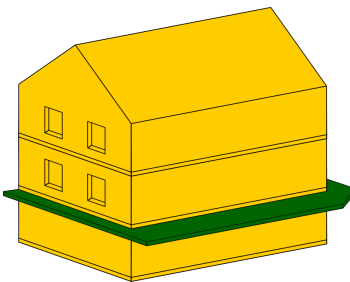
Aus diesem Gründerzeithaus im Grazer Zentrum wurde eine Eckwohnung im Hochparterre untersucht. Zwei Seiten sind Außenwände und der Fußboden trennt diese Garçonnière vom unconditionierten Keller. Die Wohnung wird von einer Elektroheizung beheizt.



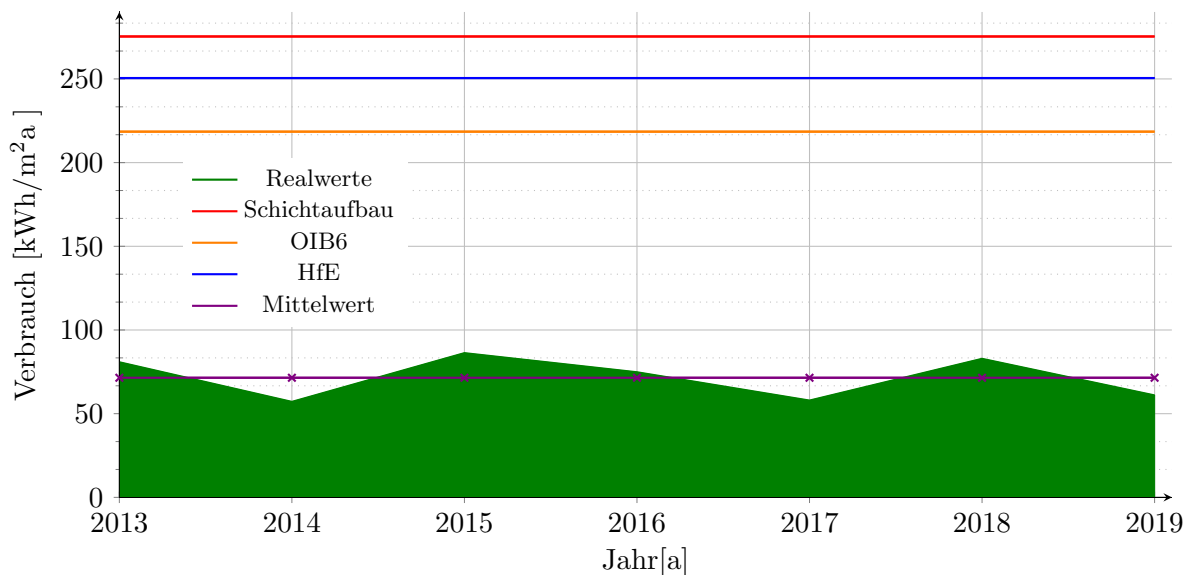
	HWB [kWh/m²a]	PEB [kWh/m²a]	CO ₂ [kg/m²a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	G 259.2	G 557.4	G 80.5	F 3.8
HfE	G 291.2	G 618.7	G 89.4	G 4.21
OIB6	G 377.9	G 784.6	G 113.4	G 5.31

Tabelle 4.17: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 13

4.13 Objekt Nr° 14

Standort	Osterhofen (Bayern)	
Meereshöhe [m]	311	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	438	
Beheizte Geschoße	4	
Baujahr	1993	
Haustechnik	Gas, Standardkessel, Solaranlage	

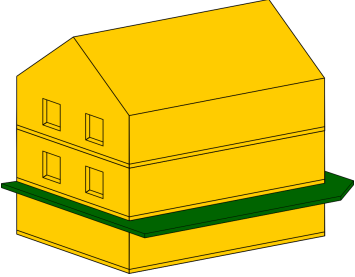
Dieses Einfamilienhaus liegt nahe der österreichischen Grenze. Seit 2016 ist es ein Zweipersonen-Haushalt. Der Großteil der Heizlast wird über den Kachelofen bewerkstelligt. Er steht im Zentrum des Gebäudes. Die Holzheizung mit Ofen ist nicht Bestandteil des Energieausweises und fließt nicht in die Berechnung ein.



	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	E 172.5	E 335.7	F 65.7	D 2.19
HfE	E 153.1	E 306.6	E 59.9	D 2
OIB6	D 128.1	D 269.1	E 52.3	D 1.76

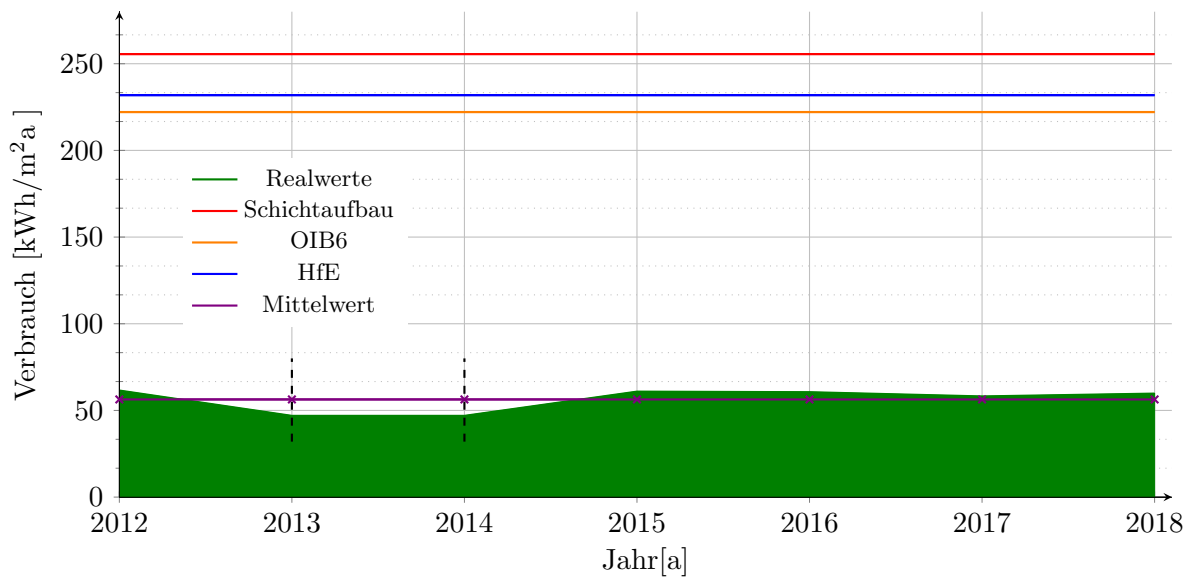
Tabelle 4.18: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 14

4.14 Objekt Nr° 15

Standort	Altirdning (Stk)	
Meereshöhe [m]	668	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Einfamilienhaus	
BGF [m ²]	349	
Baujahr	1989	
Haustechnik	Heizöl, extra leicht	

Hierbei handelt es sich um ein Einfamilienhaus, welches auf einem Ost-Südost-Hang steht. Es wird von zwei Personen dauerhaft bewohnt. Die Beheizung der Räume wird überwiegend über einen Kachelofen erreicht. Das Haus steht ca. 6 Wochen im Jahr leer. Für die Jahre 2013 und 2014 liegen keine Stromverbrauchsdaten vor, wodurch es eine Reduktion von durchschnittlich 12.83 kWh/m²a gibt. Der Heizölverbrauch ergibt sich über den jährlichen Zukauf von Heizöl (L) und wurde mit folgenden Parametern berechnet:[20]

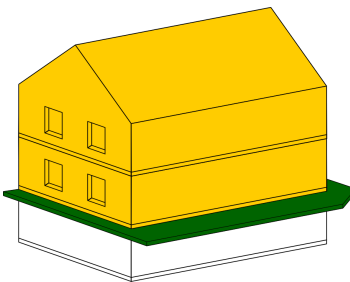
- Dichte Heizöl extraleicht: 0,8 kg/L
- Wirkungsgrad Heizöl extraleicht: 11,4 kWh/kg



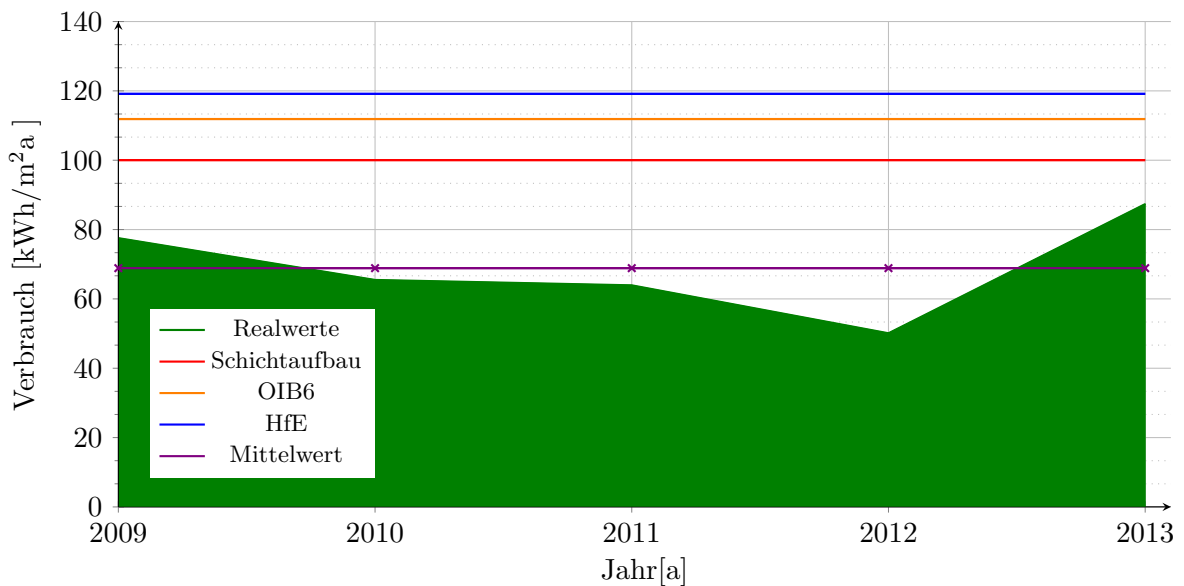
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	E 158.1	E 329.7	G 78.7	D 1.83
HfE	D 140.2	E 300.2	G 71.3	C 1.69
OIB6	D 130.9	E 287.9	F 68.3	C 1.61

Tabelle 4.19: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 15

4.15 Objekt Nr° 16

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	360	
Bauweise	sehr schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	1806	
Beheizte Geschoße	5	
Baujahr	1900	
Haustechnik	Fernwärme	

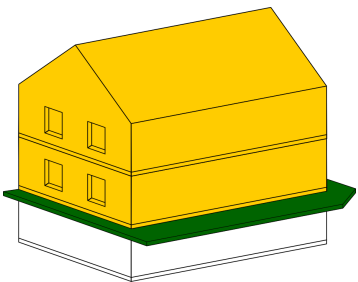
Diese Gebäude wurde 2003 saniert und der ehemals hölzerne Dachstuhl wurde ausgebaut und in 3 Wohneinheiten mit Dachterrasse aufgeteilt. Zur Berechnung des Energieausweises wurden die Baupläne lt. Umbau 2003 herangezogen.



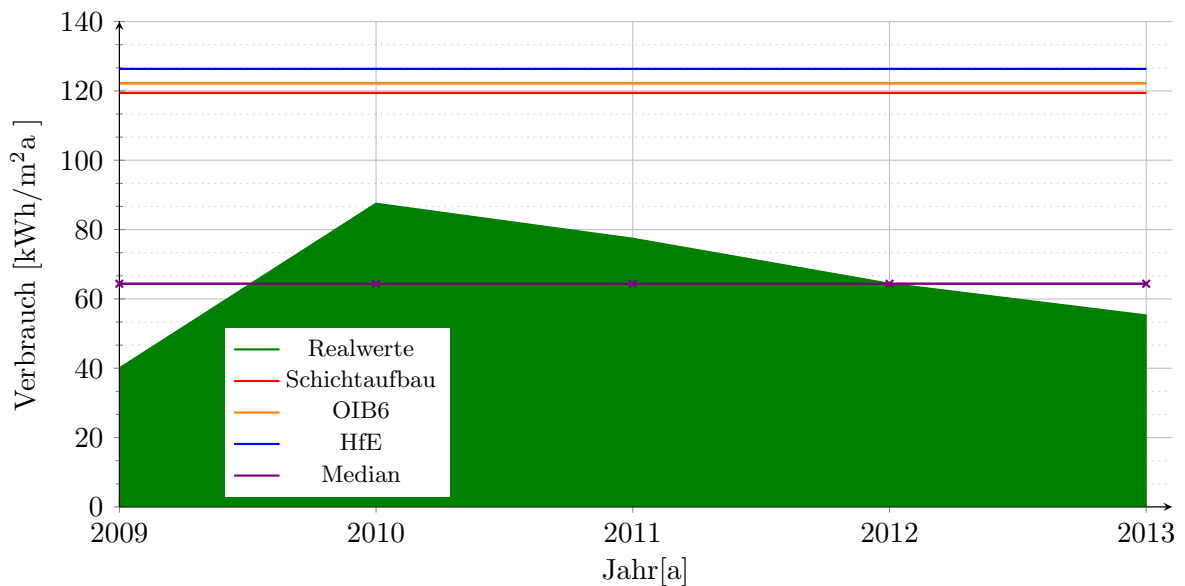
	HWB [kWh/m²a]	PEB [kWh/m²a]	CO ₂ [kg/m²a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 74.46	B 95.6	C 34.9	D 1.8
HfE	C 88.4	B 128.5	C 37.1	D 1.82
OIB6	C 93.8	B 158.3	C 37.4	D 1.97

Tabelle 4.20: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 16

4.16 Objekt Nr° 17

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	369	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	918	
Beheizte Geschoße	3	
Baujahr	1910	
Haustechnik	Heizöl leicht, Radiatoren	

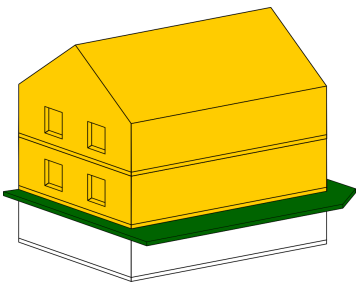
Dieses Gebäude ist ein Einfamilienhaus, welches aufgrund seiner Größe in ein Mehrfamilienhaus umgebaut wurde. Im Jahr 2009 wurde dazu ein neues Stiegenhaus gebaut.



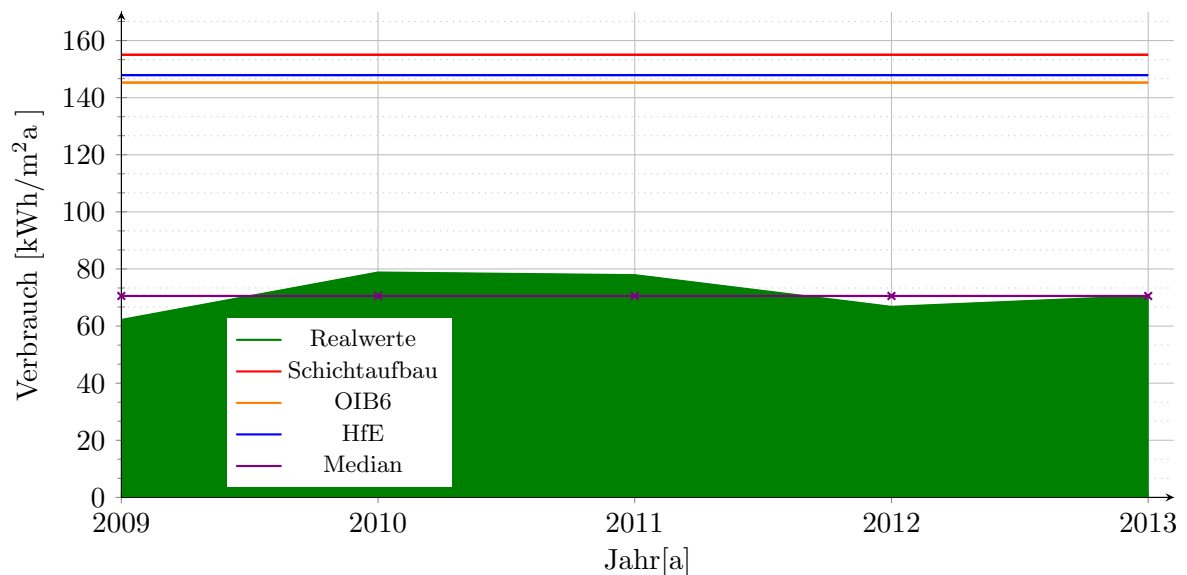
	HWB [kWh/m ² a]		PEB [kWh/m ² a]		CO ₂ [kg/m ² a]		f _{GEE} [-]	
Schichtaufbau	C	94.1	D	241.8	C	34.9	D	2.08
HfE	C	97.4	D	245.8	C	35.7	D	2.11
OIB6	C	97.4	D	245.8	C	35.7	D	2.10

Tabelle 4.21: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 17

4.17 Objekt Nr° 18

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	351	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	4282	
Beheizte Geschoße	6	
Baujahr	1930	
Haustechnik	Fernwärme, Radiatoren	

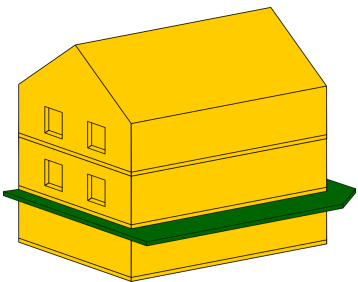
Hierbei handelt es sich um ein Schülerheim im Bezirk Lend. Es verfügt über sechs beheizte Geschoße und kann in drei Segmente aufgeteilt werden. Der Energieausweis wurde über den gesamten Gebäudekomplex gerechnet.



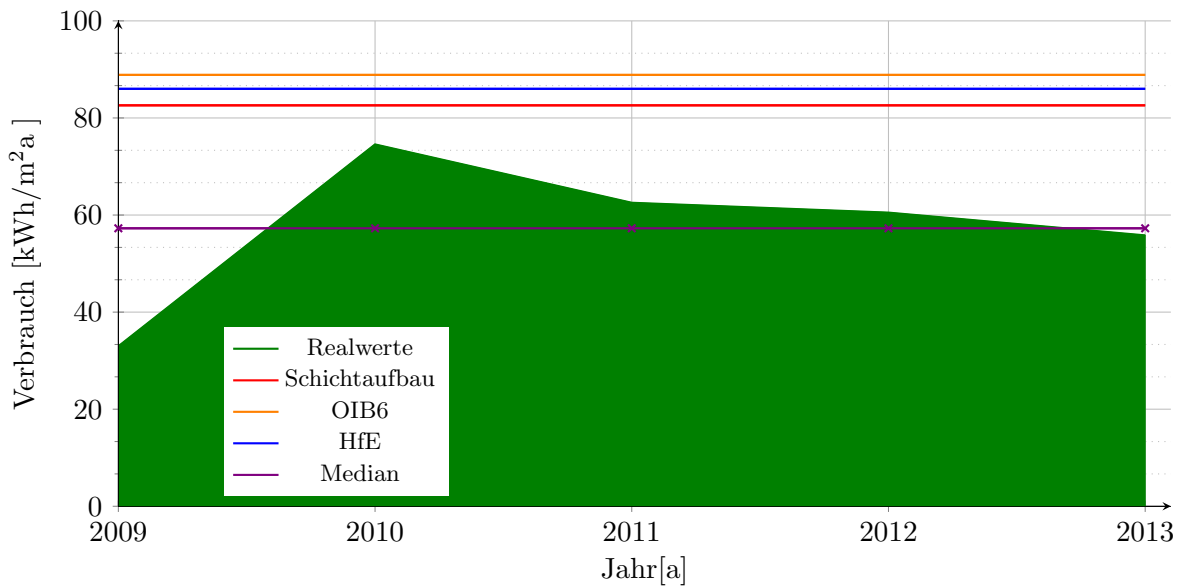
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 93	C 216.2	B 15.5	C 1.09
HfE	C 93	C 214.8	B 15.2	C 1.07
OIB6	C 92	C 211.1	B 15.2	C 1.07

Tabelle 4.22: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 18

4.18 Objekt Nr° 19

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	345	
Bauweise	mittelschwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	791	
Beheizte Geschoße	4	
Baujahr	2004	
Haustechnik	Fernwärme, Flächenheizung	

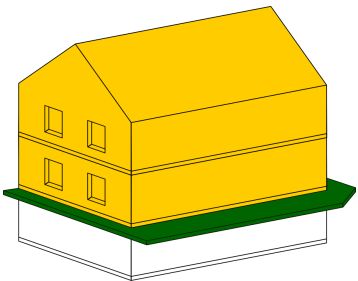
Hierbei handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus am Stadtrand. Das Gebäude besteht aus zwei Segmenten, wobei nur der Neubau aus dem Jahr 2004 aufgenommen und berechnet wurde.



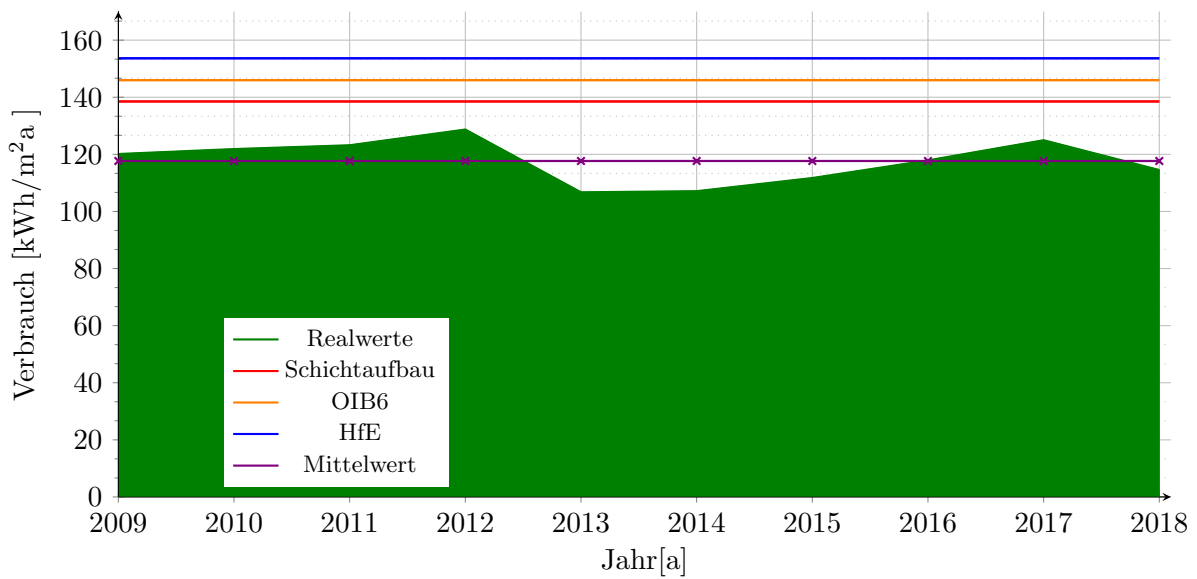
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	B 57	C 117.1	B 15	C 1.09
HfE	B 54	C 114.2	B 14.8	C 1.11
OIB6	B 52	C 115	B 14.4	C 1.1

Tabelle 4.23: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 19

4.19 Objekt Nr° 20

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	369	
Bauweise	sehr schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	1547	
Beheizte Geschoße	6	
Baujahr	1900	
Haustechnik	Fernwärme, Radiatoren, kleinflächige Flächenheizung	

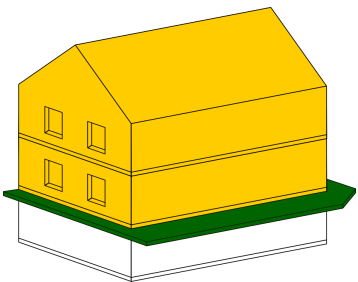
Dieses Gebäude wurde im Juli 2008 revitalisiert und grundsaniert. Es wurde von einem Mehrfamilienhaus in verschiedene Nutzungszonen aufgeteilt. Mehrere Wohnungen und Büros sind derzeit untergebracht. Zur Berechnung eines Energieausweises gibt es verschiedene Möglichkeiten. Da die einzelnen Büros eine BGF kleiner als 250 m² aufweisen, kann das gesamte Gebäude als Mehrfamilienwohnhaus deklariert werden.[4].



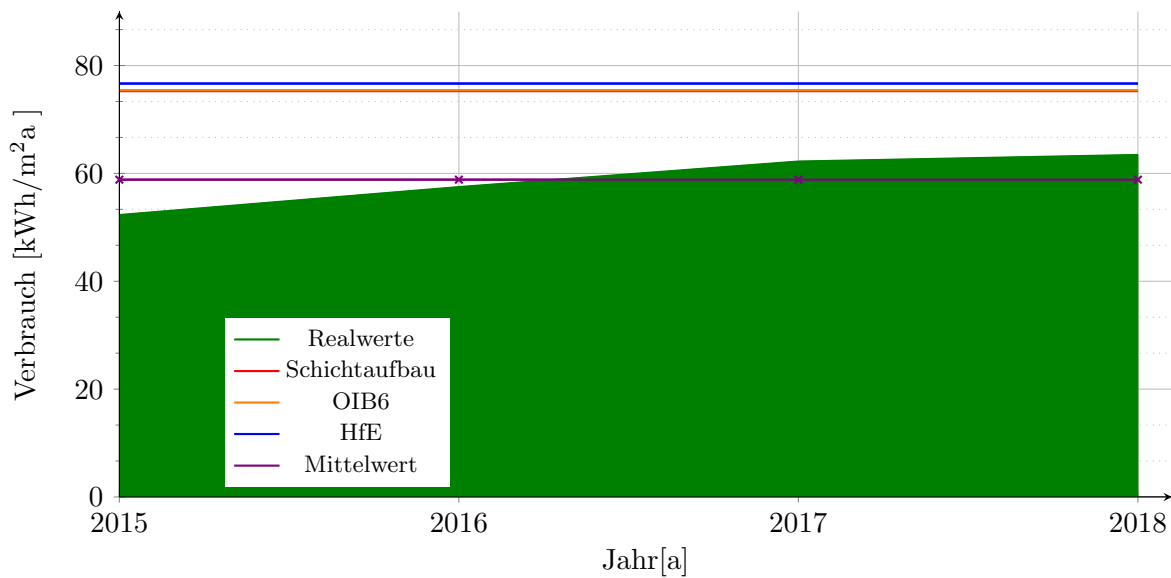
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 69	B 95.6	A 13.8	C 1.08
HfE	C 59.7	B 89.1	A 12.9	B 0.99
OIB6	C 68.4	B 95.1	A 13.7	C 1.08

Tabelle 4.24: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 20

4.20 Objekt Nr° 21

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	360	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	689	
Beheizte Geschoße	5	
Baujahr	1900	
Haustechnik	Fernwärme, Radiatoren	

Es handelt sich hierbei um einen Gebäudekomplex, der sowohl Wohnhaus als Bürogebäude und Verkaufsfächen enthält. Für den Energieausweis wurden die Wohnflächen und die Bürofläche herangezogen, letztere ist <250m². Aus diesem Grund kann der gesamte Bereich als Wohnhaus definiert werden [4].

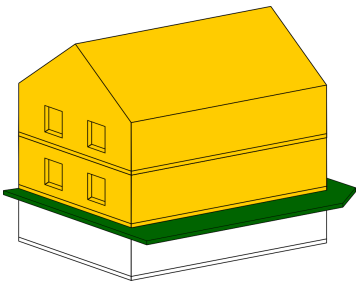


Die Berechnungsvariante mit dem detaillierten Schichtaufbau und der OIB6 sind nahezu deckungsgleich.

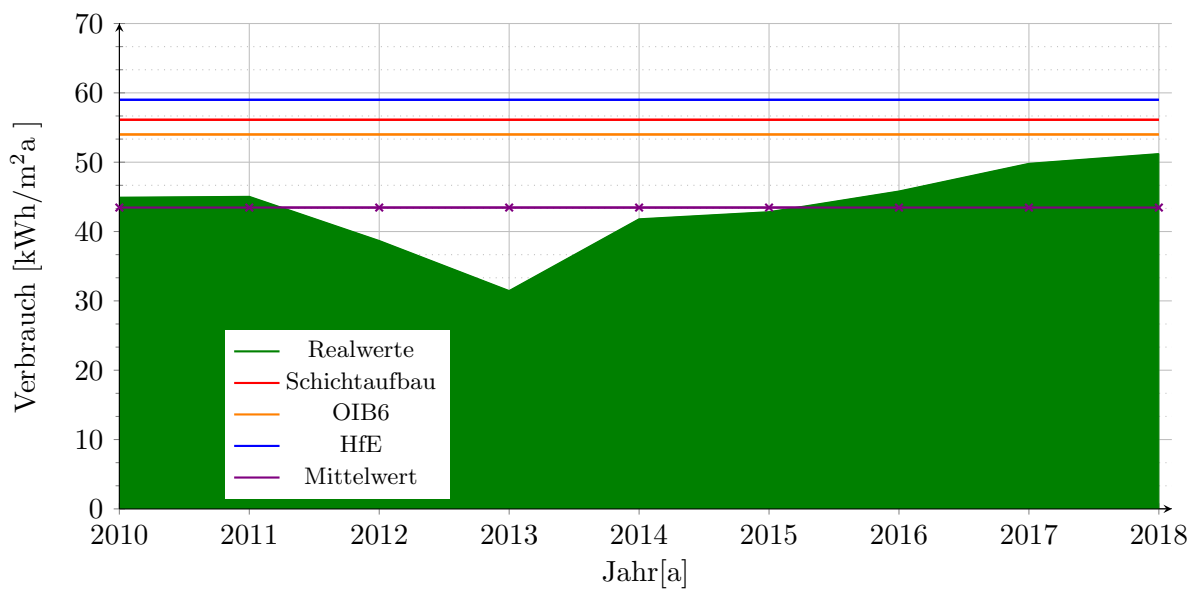
	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	B 48	B 95.6	A 13.8	B 0.99
HfE	B 49.7	B 89.1	A 12.9	C 1.08
OIB6	B 48.4	B 95.1	A 13.7	B 0.99

Tabelle 4.25: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 21

4.21 Objekt Nr° 22

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	357	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	2496	
Beheizte Geschoße	4	
Baujahr	1980	
Haustechnik	Fernwärme, Flächenheizung	

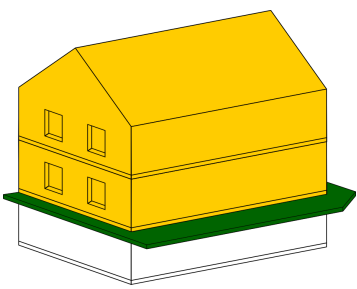
Dieses Gebäude ist ein Mehrparteienhaus in der Katastralgemeinde Lend. Seit der Erbauung 1980 wurden eine Renovierung im Jahr 2009 durchgeführt. Zur Berechnung des U-Wertes wurden die Tabellenwerte aus OIB6 und HfE des Jahres 1980 herangezogen und mit den Sanierungen der Außenwand aus dem Jahr 2009 ergänzt. Die Modellierung des Schichtaufbaus erfolgte über den Bauplan von 2009.



	HWB [kWh/m ² a]	PEB [kWh/m ² a]	CO ₂ [kg/m ² a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 53	B 97.2	A 13.2	B 0.99
HfE	C 55	B 99.7	A 13.8	C 1.08
OIB6	B 48	B 95.1	A 13.2	B 0.99

Tabelle 4.26: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 22

4.22 Objekt Nr° 23

Standort	Graz (Stk)	
Meereshöhe [m]	353	
Bauweise	schwere Bauweise	
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhaus	
BGF [m ²]	77/1277 (Fläche erstes/zweites Diagramm)	
Baujahr	1930	
Haustechnik	Fernwärme, WW-Boiler, Radiatoren	

Hierbei handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus, welches im Jahre 2000 grundsaniert wurde. In der Abbildung 4.12 wurde eine Wohneinheit des Gebäudes betrachtet und in Abbildung 4.13 wurde das gesamte Haus berechnet. Der reale Verbrauchswert (—) ist nur für die partielle Berechnung einer bestimmten Wohneinheit vorhanden und wurde für das gesamte Haus übernommen.

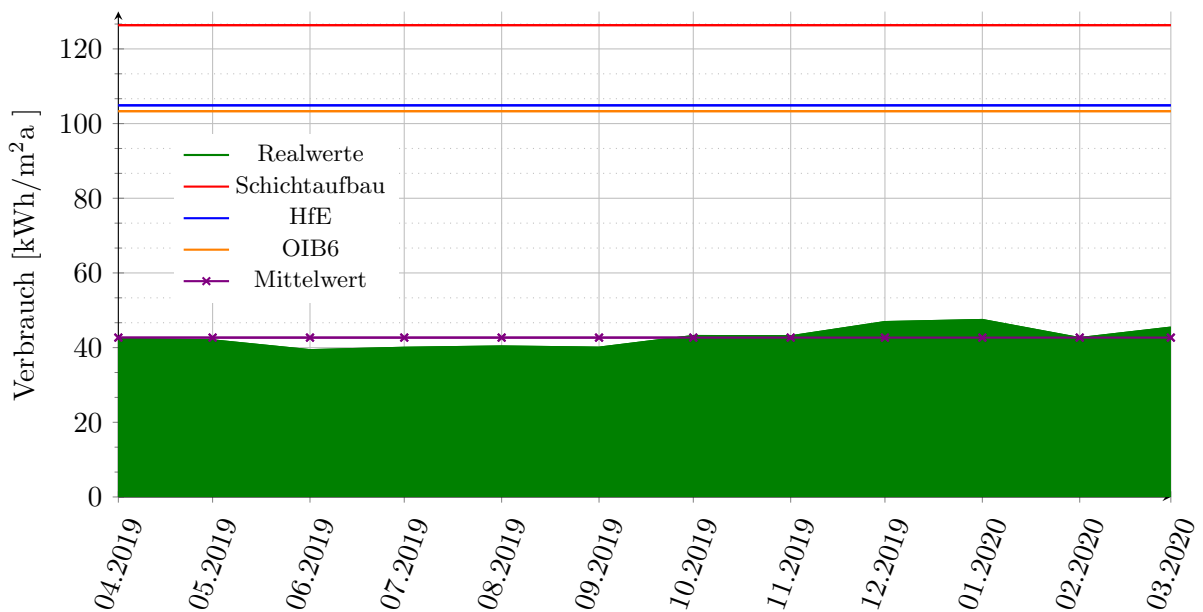


Abbildung 4.12: eine Wohneinheit des MFH

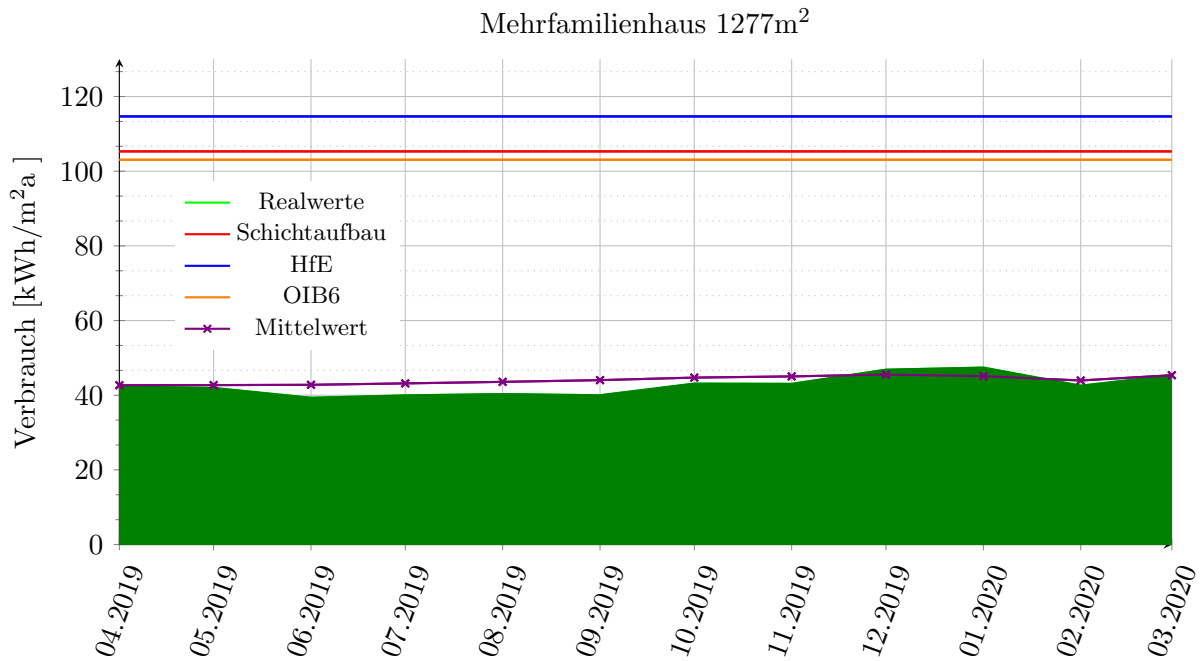


Abbildung 4.13: gesamtes MFH

	HWB [kWh/m²a]	PEB [kWh/m²a]	CO ₂ [kg/m²a]	f _{GEE} [-]
Schichtaufbau	C 65.6	C 194.8	B 17.0	B 0.97
HfE	C 55.5	C 179.6	B 15.8	C 1.16
OIB6	C 55.7	C 179.8	B 15.8	C 1.16

Tabelle 4.27: Ergebnis Energieausweis: Objekt Nr° 23

4.23 Zusammenfassung

Einem kurzen Überblick über die Versuchsreihe folgt eine steckbriefartige Auflistung der einzelnen Versuchsobjekte. Die 69 Energieausweise aus 23 Versuchsobjekten wurden kurz beschrieben und deren Eigenheiten erläutert. Zu jedem Haus wurde ein Diagramm mit den realen und berechneten Verbräuchen erstellt und die drei Berechnungsarten durch die vier Kenngrößen eines Energieausweises (HWB, PEB, CO₂, f_{GEE}) angeführt. Um den Einfluss der unterschiedlichen Berechnungen leichter zu erkennen, wurden die Klassifizierungen laut Energieausweis ebenfalls in die Tabelle geschrieben. Ein Sprung über 2 Klassen (z.B. von D nach F) ist durch die verschiedenen Berechnungsmethoden bei einem Haus (z.B. Abschnitt 4.6) möglich.

5 Ergebnisse und Interpretation

5.1 Allgemein

Für die Berechnung des Endenergiebedarfs (EEB) wurden die drei, im Kapitel 3 genannten, Modelle herangezogen. Anschließend wurden diese mit den realen Verbrauchswerten verglichen sowie eine Gegenüberstellung der Default-Werte aus der OIB6 und dem HfE mit dem Schichtaufbau der Bestandsaufnahme erstellt.

5.2 Vergleich von Modellierungen mit den realen Verbrauchswerten

In Abbildung 5.1 ist die Differenz der Default-Werte aus OIB6, dem Handbuch für Energieberater und aus dem Schichtaufbau laut Bestandsaufnahme zum realen Verbrauch abzulesen. Die Auflistung der Versuchsobjekte entspricht der Nummerierung der Gebäude aus dem Kapitel 4. Als Vergleichswert zum realen Verbrauchswert der Objekte wurde dabei der errechnete Endenergiebedarf (EEB) aus dem Computerprogramm GEQ herangezogen. Aus dieser Grafik ist ersichtlich, dass sämtliche berechneten Werte der Modellierungen die realen Verbrauchswerte um ein Vielfaches überschreiten. Dies ist zum einen auf ungenaue Werte in der Literatur sowie Unschärfe in der Berechnung des EEB und zum anderen auf eine individuelle Gebäudenutzung zurück zu führen.

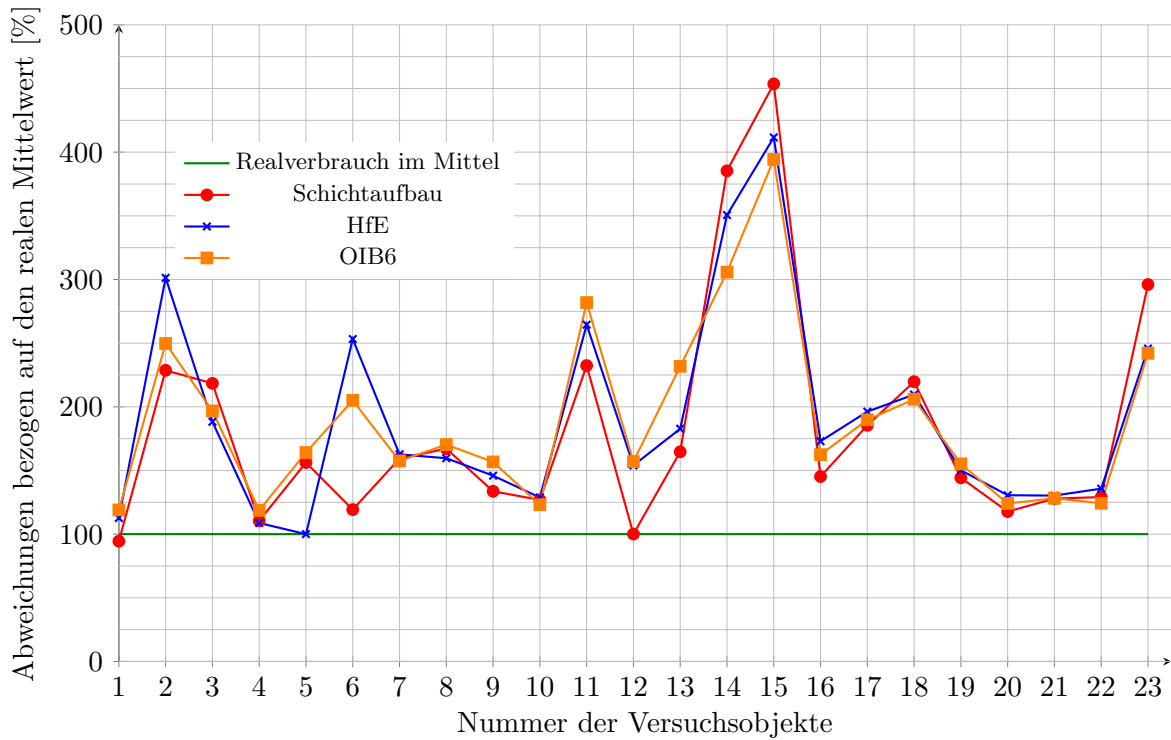


Abbildung 5.1: Vergleich der Berechnungsarten aller Objekte

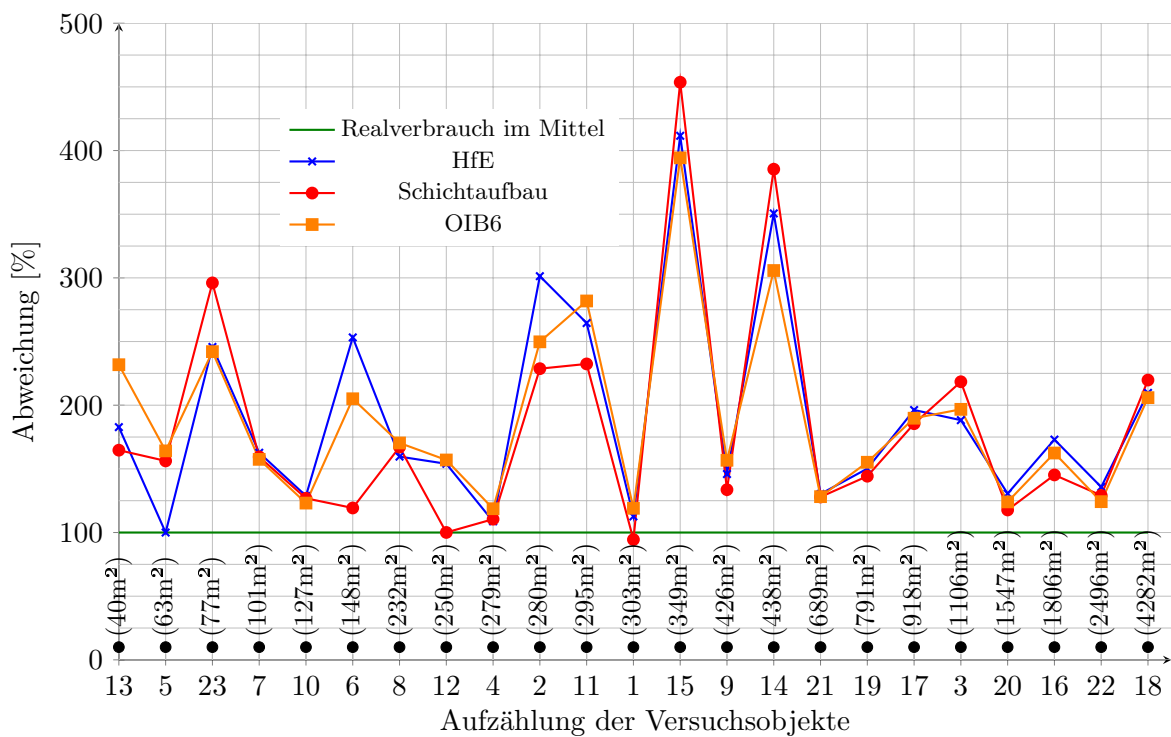


Abbildung 5.2: Vergleich der Berechnungsarten aller Objekte, sortiert nach Bruttogeschossfläche

In der Abbildung 5.2 ist die unterschiedliche Differenz bezogen auf die Größe der Bruttogeschosßfläche (BGF) ersichtlich. Mit steigender BGF werden die Abweichungen zum realen Verbrauchswert kleiner. Die Größe der BGF kann als direkter Brückenschlag zu den Nutzerprofilen legitimiert werden. Aus diesem Grund wurde eine Untersuchung, bezogen auf die selben, ausgearbeitet.

In Abbildung 5.3 wird diese Abstufung deutlich. Die Differenzen der einzelnen Modellierungen bezogen auf reale Verbrauchswerte der Gebäude, wurden in Nutzerprofile gruppiert und gemittelt. Dabei weisen die Einfamilienhäuser (Wongebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten [ÖNORM B 8110-5:2019.8] [14, 8]) eine größere Abweichung als Mehrfamilienhäuser (Wohngebäude mit mehr als 2 Nutzungseinheiten [14, 8]) auf. Zur Vereinfachung werden alle Kategorien ab drei Nutzungseinheiten in eine Gruppe zusammengefasst. Ein Einfamilienhaus hat im Schnitt eine Abweichung der berechneten Werte von der Realität, von 108% bis 127%. Die Berechnungen der Mehrfamilienhäuser liegen sichtbar näher an den realen Verbrauchswerten. Sie weichen mit 67% bis 73% ab.

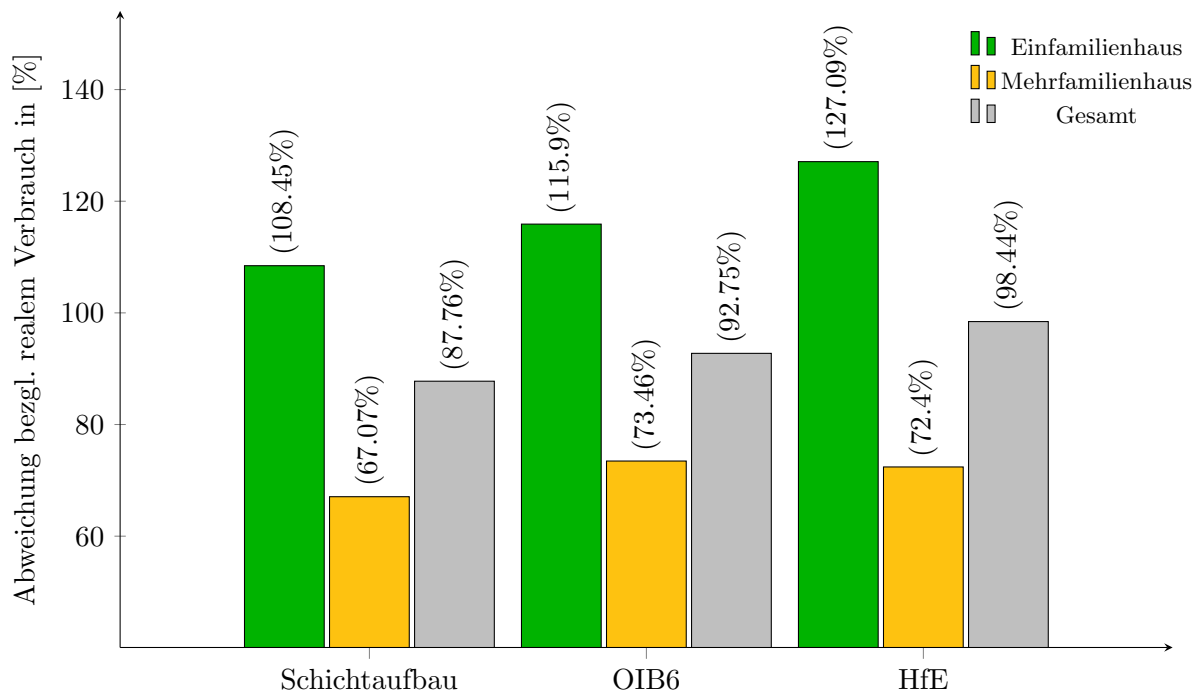


Abbildung 5.3: Abweichung bezogen auf das Nutzerprofil

In Abbildung 5.4 werden die Abweichungen nach Bauweisen gruppiert und gemittelt. Die Bezugswerte sind wiederum die realen Verbrauchswerte. Hinsichtlich der Bauweisen zeichnet sich ein Unterschied der Abweichungen im Bezug auf die Realität ab. Bei leichter Bauweise ergibt sich eine Abweichung über alle Berechnungsarten von 70%-80%. Bei mittelschwerer Bauweise ist eine große Differenz (ca. 117%) bei der Berechnungsart "HfE" berechnet worden. In der ÖNORM B8110-6.1:2019 [10] wurde die sehr schwere Bauweise (Abweichung von 46%-68%) gegenüber der vorherigen Version [ÖNORM B 8110-6:2015 [17]] mit der schweren

Bauweise (Abweichung von 106%-120%) gleich gesetzt. Diese statistische Ausarbeitung wurde laut ÖNORM B 8110-6:2015 bewerkstelligt und daher die "sehr schwere Bauweise" als eigene Gruppe betrachtet. Die Aufteilung der Gruppen, basierend auf der ÖNORM B8110-6.1:2019, würde dieses Ergebnis stark verfälschen. Schwere und sehr schwere Bauweisen haben nicht dieselbe Toleranz zu den realen Verbrauchswerten. Die Überarbeitung der ÖNORM und dessen Veränderung bezüglich der Bauweise, muss durch diese Analyse in Frage gestellt werden.

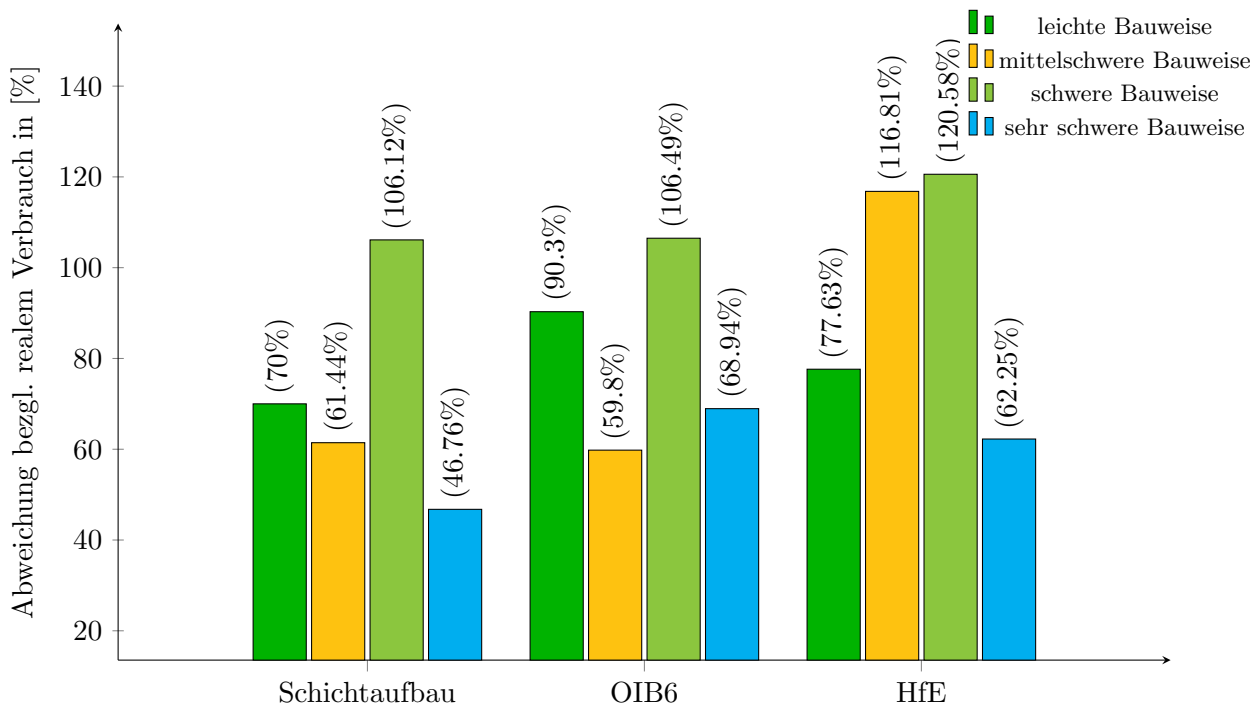


Abbildung 5.4: Abweichung bezogen auf das Nutzerprofil

5.3 Vergleich von Default-Werten aus OIB6 und HfE mit dem Schichtaufbau

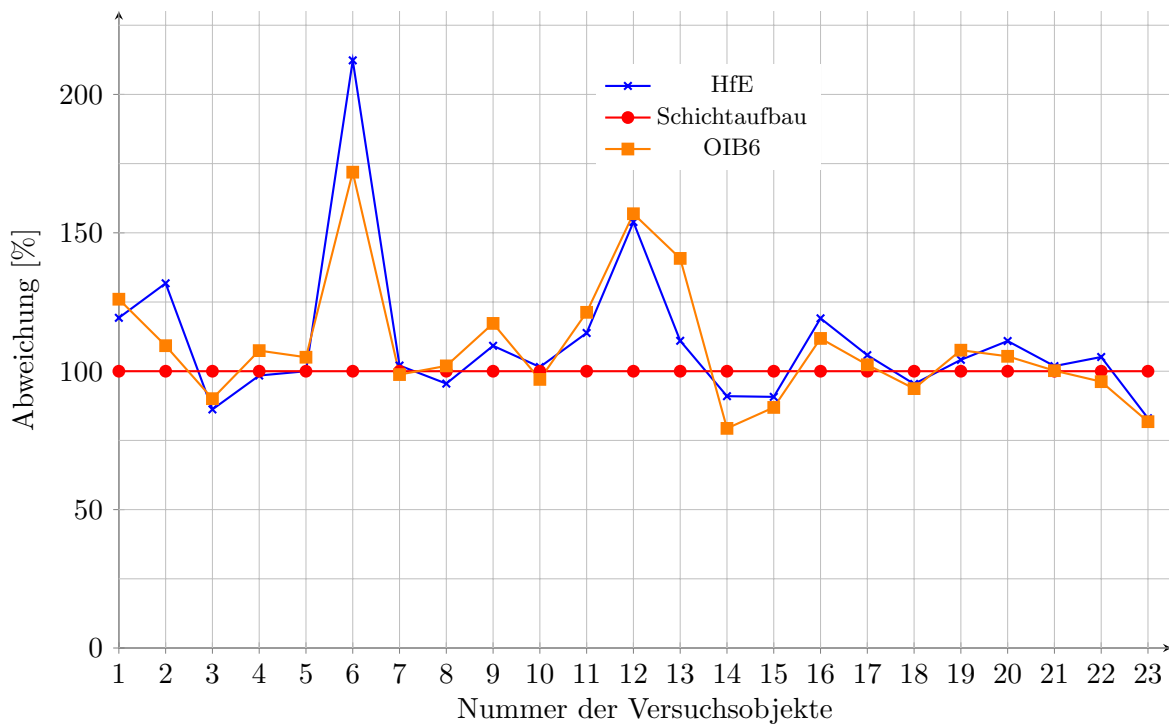


Abbildung 5.5: Abweichung von OIB6 und HfE im Bezug auf Schichtaufbau

In Abbildung 5.5 wird die Diskrepanz der Default-Werte der OIB6 oder des HfE im Bezug auf den Schichtaufbau erläutert. Die Anordnung der Objekte entspricht der Nummerierung der Gebäude aus dem Kapitel 4. Die Abweichung der Berechnungsart “HfE“ kann bis zu 112% variieren und weicht im Mittel um 9% ab. Werden die Default-Werte über die OIB6 mit dem Schichtaufbau verglichen so ergibt sich eine maximale Abweichung von 70% und eine mittlere Abweichung von 10%.

In Abbildung 5.6 werden dieselben Werte nach Größe der Bruttogeschoßfläche(BGF [m²]) angeordnet. Die Abweichung nimmt mit der Größe der Gebäude ab. Dieser Bezug lässt auf die technisch richtige Annahme der Default-Werte schließen und unterstreicht die Relevanz der subjektiven Kenngrößen eines Wohngebäudes. Bei einer großen Anzahl von Wohneinheiten in einem Mehrfamilienhaus verschwimmen die Abweichungen durch diese. In der OIB6 Berechnungsmethode gibt es für Mehrfamilienhäuser einen eigenen Tabellenwert, der sich von denen der Einfamilienhäuser unterscheidet. In Abbildung 5.6 ist die große Differenz der Varianten OIB6 und HfE am Versuchsobjekt 6 (Abschnitt 4.6) ersichtlich. Grund dafür ist eine Erneuerung der Außenhaut von Seiten des ehemaligen Bauherren selbst. Da es keine Planung oder Bestätigung von Seiten des Bauherren gibt, wurden die Default-Werte laut Angabe eingetragen. Eine Baudokumentation würde hierbei zu präziseren Ergebnissen führen

als die mündliche Auskunft des Bauherren.

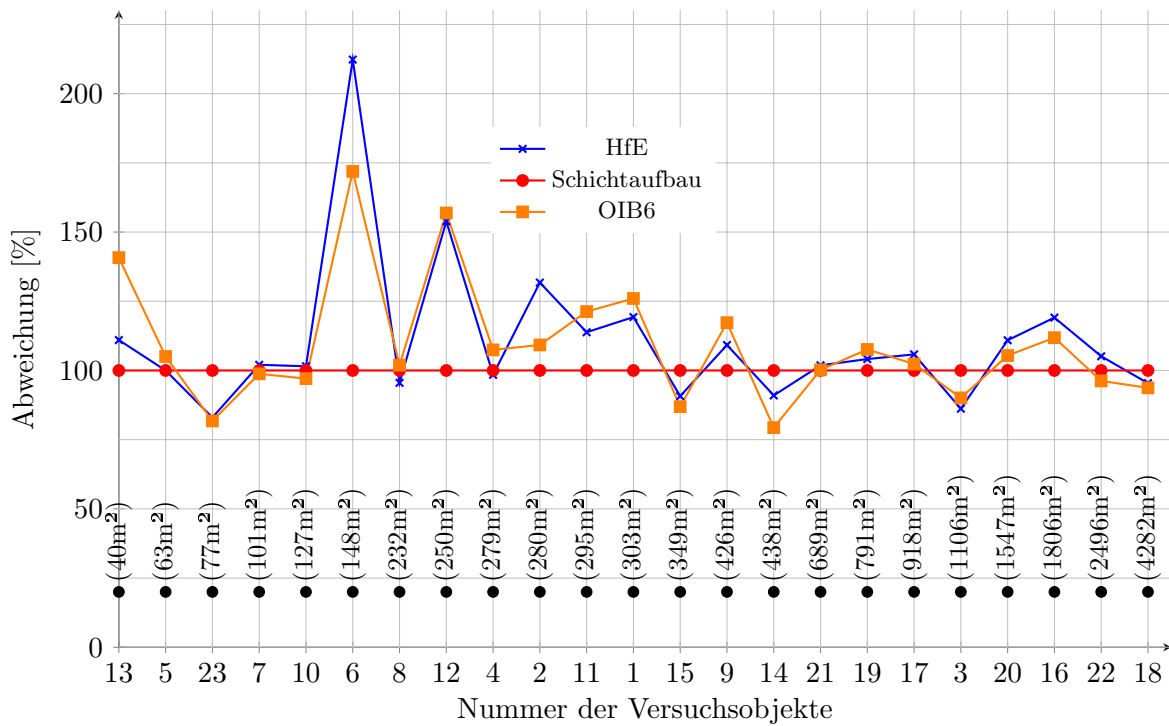


Abbildung 5.6: Abweichung von OIB6 und HfE im Bezug auf Schichtaufbau

Die Abbildung 5.7 zeigt die Abweichungen der Defaultwerte vom detaillierten Schichtaufbau, bezogen auf das Nutzerprofil. Bei Einfamilienhäuser variieren die Ergebnisse zwischen 12% und 16,4% und bei Mehrfamilienhäuser zwischen 7,7% und 9,5%. Auch in dieser Abbildung wird der Unterschied zwischen den Berechnungen von Mehr- und Einfamilienhäuser deutlich.

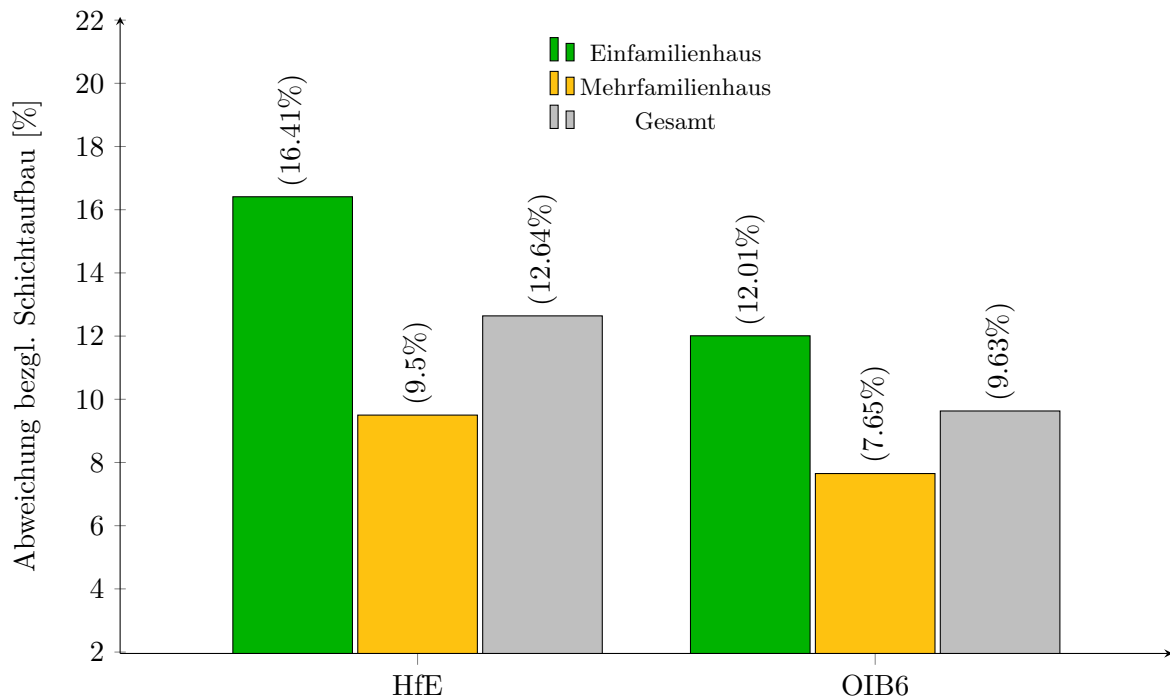


Abbildung 5.7: Abweichung von OIB und HfE gegenüber dem Schichtaufbau bezogen auf das Nutzerprofil

In Abbildung 5.8 werden die Gebäude nach Bauweisen [lt. [10, 9.1.2] und ÖNORM B 8110-6,2015] gruppiert und deren Abweichung bezüglich des Schichtaufbaus aufgelistet. Dabei werden Unterschiede in der Auslegung der Default-Werte deutlich. Für leichte Bauweisen ergibt sich aus den Default-Werten in der OIB6 eine Abweichung von ca. 10% und im HfE eine Abweichung von 2,6%. Das bedeutet, dass die Werte im Handbuch für Energieberater eine bessere Abbildung der leichten Bauweise gewährleisten. Bei mittelschweren Bauweisen liegen beide Berechnungsmodelle bei einer Differenz von ca. 3%. Die Differenz der schweren Bauweisen ist wiederum durch das HfE (ca. 16%) eineinhalb mal so groß wie jene der OIB6 (ca. 10%).

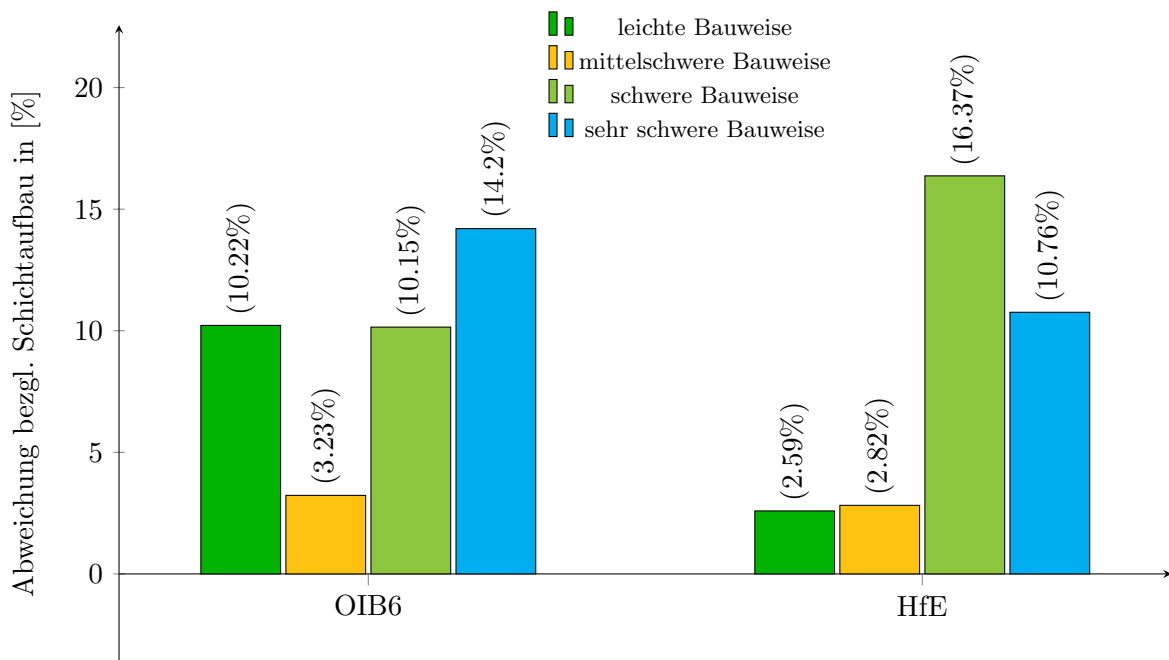


Abbildung 5.8: Abweichung von OIB und HfE gegenüber dem Schichtaufbau bezogen auf die Bauweise

Abschließend wurde in Abbildung 5.9 ein Vergleich zwischen den optimalen und suboptimalen Ergebnissen errechnet. Wenn für jedes Haus die am nächsten der Realität entsprechenden Berechnungsart gewählt wurde, ergibt sich im Schnitt eine Abweichung von 73,5%. Wenn man jene wählt, die am weitesten vom Realwert entfernt sind, liegt die mittlere Abweichung bei 99,8% \approx 100%.

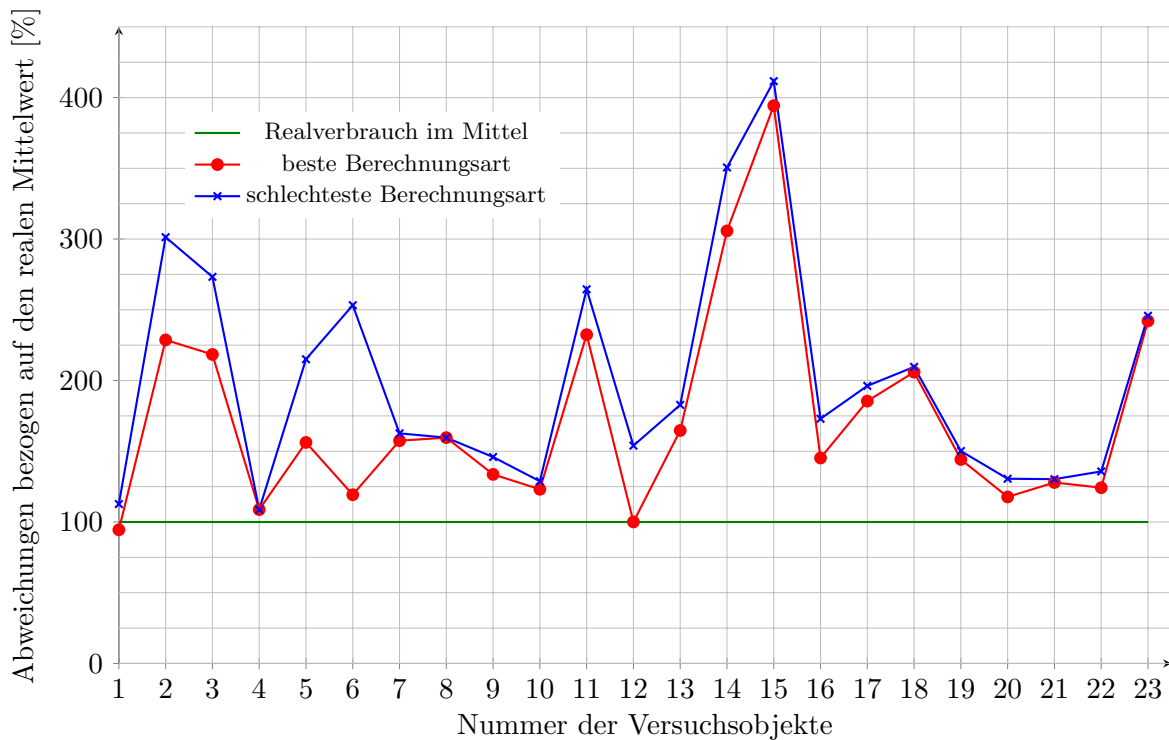


Abbildung 5.9: Vergleich der besten und schlechtesten Berechnungsarten aller Objekte

Praxisnahe Betrachtung

In Abschnitt 5.3 wurden die verschiedenen Modellierungen untereinander verglichen. Ein Ziel dieses Vergleichs, ist eine Kosten-Nutzenanalyse der möglichen Arten einer Berechnung eines Energieausweises. Der Fokus der Diagramme aus Abschnitt 5.3 liegt in der Wirtschaftlichkeit einer Default-Wertannahme in der Praxis. In Abbildung 5.6 wird die Annäherung der Default-Werte zum genauen Schichtaufbau bei größer werdenden Bruttogeschossflächen deutlich. Bei Gebäuden über 438 m² BGF liegt die Abweichung der Default-Werte aus OIB und HfE zu den detaillierten Schichtaufbauten unter 15%, wobei eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 2% und ein Konfidenzintervall von 95% vorliegt. Dies führt dazu, dass die Energieausweise für Mehrfamiliengebäude ab ca. 400² m BGF, welche mit Default-Werten erstellt werden, vergleichbare Ergebnisse erzielen, wie jene mit einer detaillierten Bestandsaufnahme und realitätsnahem Schichtaufbau. Bei verschiedenen Modellierungen kann so ein erheblicher Mehraufwand entstehen.

Beispiel aus der Praxis mit den unterschiedlichen Vorgehensweisen:

Default-Werte aus OIB6 oder HfE: Für die Aufnahme und Berechnung eines Einfamilienhauses mittlerer Größe (ca. 160 m²), werden zwischen 3 und 5 Stunden Zeitaufwand kalkuliert. Dabei werden die Bauteilaufbauten sowie die Fenster und Türen und somit deren g-Wert und U-Wert mit Default-Werten aus der Literatur beschrieben.

Schichtaufbau: Für eine realitätsnahe Bezifferung jeglicher U-Werte und g-Werte eines Bestandsgebäudes wird jedes Bauteil konstruiert und jede Schichtdicke sowie jeder Materialkennwert im Bauteil definiert. Der Zeitaufwand wird hierbei auf 5 bis 10 Stunden verdoppelt. Der wirtschaftliche Benefit bei der Beschreibung der Kennwerte mittels Default-Werten ist somit bei Häusern über 400 m² gegeben. Es bedarf keiner Beschreibung der einzelnen Schichten mit Materialkennwerten (λ -Wert) und Dicken und die berechneten Energieausweise sind dennoch konform.

5.4 Zusammenfassung

Für die Berechnung des Endenergiebedarfs (EEB) wurden die drei, im Kapitel 3 genannten, Modelle herangezogen. Anschließend wurden diese mit den realen Verbrauchswerten verglichen sowie eine Gegenüberstellung der Default-Werte aus der OIB6 und dem HfE mit dem Schichtaufbau der Bestandsaufnahme erstellt. Die Häuser wurden nach Bauweisen und nach Nutzerprofil aufgelistet und analysiert. Den Abschluss bildet eine praxisnahe Betrachtung bei dem der zeitliche Aufwand und die Qualität der unterschiedlichen Ergebnisse, basierend auf dem Aufwand, besprochen wird.

6 Vorschlag für Normüberarbeitung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Berechnung und der Vergleich zwischen unterschiedlichen Berechnungsmethoden von Energieausweisen für Bestandsgebäuden durchgeführt und der Endenergiebedarf der verschiedenen Modelle erörtert. Die Ergebnisse dieser Studie lassen faktisch keinen anderen Schluss zu, als dass die Werte aus der Theorie weit streuen und die Realität meist nicht widergespiegelt wird.

Die Lage des Objektes mit Hangneigung (Sonnenexposition) und natürlicher Beschattung muss ebenso in die Berechnung integriert werden, wie die horizontale und laterale Einstrahlung der Sonne. Ein Haus auf der Südseite eines Hanges hat mehr direkte Sonneneinstrahlung als dasselbe auf der Nordseite. Das Gebäude in Abschnitt 4.1 ist ein Beispiel dafür. Im genannten Beispiel liegt das Haus auf der Südseite eines Hanges. Der Einstrahlungswinkel beträgt am Primäräquinoktium (Tag-Nachtgleichheit) 171° . Durch die sonnenexponierte Lage hat das Haus von 6:16 Uhr bis 18:00 Uhr direkte Sonneneinstrahlung. Die ländliche Umgebung begünstigt dies und es gibt keine natürliche Verschattung oder selbiges durch Nachbarsgebäude. Eine einfache Herangehensweise wäre jene der Photovoltaikanlagen [3, Tabelle 53] in den Energieausweisen. Der Geländewinkel wird hierbei in Klassen eingeteilt und monatlich mit Skalaren versehen. So wäre eine Abminderung der Sonneneinstrahlung auf nicht Südhängen möglich. Eine andere Möglichkeit das Umfeld eines Gebäudes bestmöglich in die energetische Bewertung eines Hauses zu implementieren, wären die Orthodaten über einen Digitalen Atlas (z.B. GIS-Steiermark [15]) zu ergänzen. Bei identischen Bauten in unterschiedlicher Lage könnte so eine präzisere Klassifizierung im Energieausweis berechnet werden.

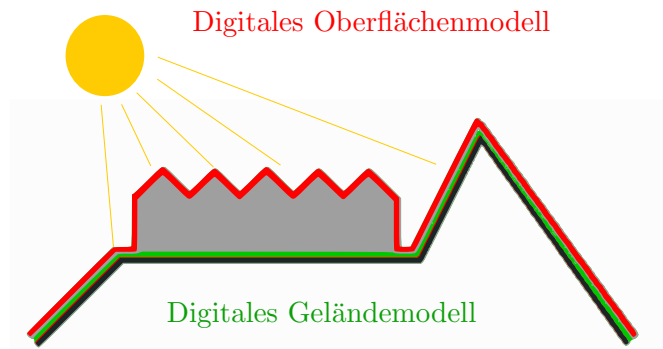


Abbildung 6.1: Repräsentatives Modell von DOM und DGM

Mit den vorliegenden Daten aus DGM (Digitales Geländemodell) und DOM (Digitales Oberflächenmodell) könnte man das beeinflussende Umfeld sehr gut im Energieausweis abbilden und durch den gegebenen Stand der Sonne, mögliche Verschattungen oder sonnenexponierte Flächen schnell und einfach ableiten. Die vorliegenden Daten im genannten Beispiel wurden in Abschnitt 4.1 zusammengefasst und beschrieben. Gegebene Daten aus dem Geoland Portal [21] könnten in das Berechnungsmodell integriert und so die energetische Beschaffenheit eines Baugrundes einheitlich beschrieben werden. Über die Differenz von DOM und DGM wäre eine einfache Berechnung der Höhe der Nachbarsgebäude und in Folge dessen, deren Einwirkung möglich. Somit wäre eine komplizierte Eingabe der verschiedenen Parameter samt tabellarischen Faktoren unnötig.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag ist die Ausrichtung der Außenflächen und insbesondere der Außenwände. Eine mögliche Eingabe der sonnenbestrahlten Außenbauteile (Außenwand, Dachfläche) könnte wie bei Fenstern im Computerprogramm GEQ erfolgen. Die Ausrichtung und der lotrechte Winkel zur Sonne könnte eingegeben und somit das eingebaute Bauteil besser beschrieben werden. Der Wärmedurchgangskoeffizient einer Außenwand könnte so, basierend auf ihrer Ausrichtung und Himmelsrichtung, durch einen Faktor vermindert oder erhöht werden.

Ein weiterer Parameter, welcher der Berechnungsgrundlage "Energieausweis" hinzugefügt werden sollte, ist die Anzahl der Bewohner eines Hauses. Ein Vorschlag wäre eine automatisierte Berechnung über die Größe und Anzahl der Zimmer, damit eine persistente Aussage möglich ist. Die Gebäude aus Abschnitt 4.13 und Abschnitt 4.14 zeigen diese Problematik sehr gut. Beide Häuser sind Zwei-Personen Haushalte. Die Bruttogeschossfläche entspricht dabei einem 6-8 Personen Haushalt. Die Gebäude werden nur teilweise benutzt und eine Berechnung des Energieverbrauchs ist nicht realitätsnahe möglich. Die energetische Bewertung des Hauses ist korrekt, jedoch kann dieser Energieausweis nicht als Anhaltspunkt für den Endenergiebedarf herangezogen werden. Der berechnete Endenergieverbrauch beider Gebäude

übertrifft den realen Verbrauch um das Vier- bis Fünffache (Objekt Nr. 14 und 15 in Abbildung 5.1). Eine Lösung wäre ein normierter Wert für eine der Bruttogeschoßfläche entsprechenden Personenanzahl und eine Tabelle, in der die Anzahl der Personen skalierbar erweitert oder verringert werden kann. So ist eine Nutzung des Energieausweises als Bewertung des Hauses und als Anhaltspunkt für den durchschnittlichen Verbrauch möglich.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts (Stand 2019) hat jeder Einwohner in Österreich im Durchschnitt 45.3 m^2 Wohnfläche, wobei eine Wohnung durchschnittlich 4,4 Zimmer hat[22]. Basierend auf dieser Statistik könnte man eine Indextabelle für Bestandsgebäude erstellen. Als Beispiel dafür wird das Objekt aus Abschnitt 4.14 herangezogen. In diesem Einfamilienhaus mit einer BGF von 349 m^2 wohnen zwei Personen. Somit liegt die Wohnfläche pro Bewohner weit über dem Durchschnitt. Gleiches gilt auch für den berechneten Verbrauch zum Realverbrauch. Laut dieser Statistik wäre das vorliegende Gebäude ein Acht-Personen Haushalt.

$$\frac{349 \text{ m}^2}{45.3 \frac{\text{m}^2}{\text{Person}}} = 7.7 \text{ Personen} \approx 8 \text{ Personen} \quad (6.1)$$

In Tabelle 6.1 wird eine potentielle Lösung dieser Problematik angeboten. Der berechnete Verbrauch (in Rot), ist das Arithmetische Mittel der drei Berechnungsmodelle. Der Realverbrauch (in Grün) ist das Arithmetische Mittel des Realverbrauchs zwischen den Jahren 2012-2018. Über die Personenanzahl wird der berechnete Verbrauchswert skaliert. Für einen Zwei-Personen Haushalt ($2/8 \text{ Personen} = 0,25$) wäre ein EEB-Wert von $59,13 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ die Folge. Dieser Wert liegt nahe dem Realverbrauch von $56,34 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und könnte so als realistischer Richtwert im Energieausweis stehen.

Tabelle 6.1: Beispieltabelle Verbrauchswert eines Haushaltes mit variabler Bewohneranzahl

56,34				Realverbrauch (EEB) [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]
2	4	6	8	Personen
0,25	0,5	0,75	1	Skalar
59,13	118,27	177,39	236,53	berechneter Verbrauch für [$\text{kWh/m}^2\text{a}$]

Die Beschreibung der Bauweisen darf nach den Ergebnissen ebenfalls in Frage gestellt werden. Da die Klassifizierung der Bauweisen[10] nicht strengen Regeln entspricht und Interpretationsspielraum offen lässt, kann dieser Faktor als mögliche Ungenauigkeit in der Berechnung angesehen werden. Ein Beispiel dafür ist das Gebäude aus Abschnitt 4.9. Laut der Definition der Bauweisen in der ÖNORM 8110-6.1 [10, 9.1.2], kann dieses Gebäude in mittelschwerer und schwerer Bauweise beschrieben werden. Die unterschiedlichen Definitionen schließen sich

in ihrer Bauteilbeschreibung nicht eindeutig gegenseitig aus (Gleichung 3.3.1).

Abbildung 4.10 beweist den stetigen Anstieg des Haushaltsstrombedarfs (HHSB) im Bezug auf den Heizenergiebedarf (HEB). Derzeit wird der HHSB lt. ÖNORM H 5050-1 [9, 4.2] wie folgt berechnet:

$$Q_{HHSB,j} = \frac{1}{1000} \cdot q_{i,h} \cdot x_{Ger,q} \cdot BGF \cdot d_j \cdot 24 \quad (6.2)$$

$$Q_{HHSB,a} = \sum Q_{HHSB,j} \quad (6.3)$$

$$HHSB = \frac{Q_{HHSB,a}}{BGF} \quad (6.4)$$

$Q_{HHSB,j}$	monatlicher Haushaltsstrombedarf, in kWh/M
$q_{i,h}$	innere Wärmegewinne, in W/m ²
BGF	Bruttogrundfläche, in m ²
d_j	Anzahl der Tage im Monat j
$Q_{HHSB,a}$	jährlicher Haushaltsstrombedarf, in kWh/a
$HHSB$	spezifischer Haushaltsstrombedarf, in kWh/(m ² a)
$x_{Ger,q}$	Anteil der inneren Wärmegewinne aus Gerätewärme

Durch die Elektrifizierung vieler Haushaltsgeräte und dem verstärkten Einsatz von aufladbaren Elektrogeräten hat der HHSB einen übergeordneteren Stellenwert als vor 20 Jahren. Eine Überarbeitung der Berechnung des HHSB-Wertes ist hierbei erforderlich. Für einen fundierten Lösungsansatz sind weitere Studien notwendig.

Der letzte Vorschlag hinterfragt die Zonierung eines Gebäudeteils. In Abbildung 2.3 werden die möglichen Nutzerprofile [14, 8] aufgelistet. Auch hier entscheiden Parameter über die energetische Qualität eines Hauses. Ein Bürogebäude hat 23 Nutzertage im Monat und ein Wohngebäude 30. Die Zonierung des Gebäudes erfolgt über die überwiegende Nutzung des Gebäudes, sofern andere Nutzungen die Netto-Grundfläche von 250 m² nicht überschreiten. Durch diese Reglementierung können keine präzisen Energieausweise berechnet werden, da es unterschiedliche Möglichkeiten zur Modellierung gibt. Weiters kann ein Gebäude teilweise oder gesamtheitlich berechnet werden. Durch die partielle Berechnung kann man das Gesamtsystem sehr schwer abbilden und ein möglicher Vorteil einer Gesamtanschauung kann nicht widerspiegelt werden. Eine Alternative wäre die verpflichtende Berechnung des gesamten Gebäudes und die Zuteilung der einzelnen geschlossenen Teile. So besteht die Möglichkeit eine einheitliche Berechnung zu gewährleisten und dennoch einzelne Bereiche getrennt zu bewerten.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit dem Vergleich aus den verschiedenen Berechnungsmethoden für den Energieausweis (nach Bestand und Schichtaufbau, Handbuch für Energieberater, Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6) und den realen Verbrauchswerten auseinander. Sie ist eine erste Annäherung an die oben beschriebene Fragestellung und soll auch als solche verstanden werden. Die Anzahl der Daten wurde – dem zeitlichen Rahmen entsprechend – auf 23 Objekte beschränkt. Alle Daten wurden aus erster Hand aufgenommen und ausgewertet, wodurch systematische Fehler ausgeschlossen werden können.

Im ersten Teil der Arbeit wurden die Bestandsgebäude erfasst. Wichtige Eingangsparameter, wie Projektdaten, bautechnische Aspekte und die Haustechnik wurden aufgenommen. Die Häuser wurden vor Ort aufgemessen und mit vorhandenen Plänen verglichen. Weiters wurden die Bauweisen festgehalten und die Zonierung notiert.

Im zweiten Teil wurden die Häuser mit dem Computerprogramm GEQ modelliert und der Energieausweis lt. Bestand erstellt. In Folge dessen wurde der Energieausweis kopiert und die Kenndaten der Bauteilaufbauten, Fenster und Türen mit Werten aus der Literatur (Handbuch für Energieberatung und/oder OIB6) ersetzt und erneut berechnet. Es ergibt sich eine Grundgesamtheit bzw. ein Versuchsplan von 69 Energieausweisen.

In der Berechnung und Gegenüberstellung wurden alle Gebäude steckbriefartig aufgelistet und deren Ergebnisse in Diagrammen dargestellt. Den Abschluss jeder Objektbeschreibung in Kapitel 4 bildet eine Auflistung der maßgebenden Indikatoren eines Energieausweises. Für jedes Haus wurden drei Energieausweise berechnet. Diese Tabelle enthält für jeden Energieausweis eines Hauses die vier Maßzahlen: Spezifischer Heizwärmebedarf (HWB), Primärenergiebedarf (PEB), Kohlendioxidemissionen (CO_2) und den Gesamtenergieeffizienzfaktor f_{GEE} . Basierend auf den verschiedenen Berechnungsarten ändert sich die Klassifizierung der oben genannten Faktoren. Diese Studie beweist somit, dass man mit den drei oben genannten Modellen unterschiedliche Energieausweise desselben Gebäudes berechnen und deren Klassifizierung variieren kann. Das Objekt in Abschnitt 4.6 ist ein Paradebeispiel. Die HWB-Klassifizierung (Heizwärmebedarf) schwankt von “C” bis “F” und der f_{GEE} -Faktor fällt von 2,08 auf 4,35 und somit die Bewertungsklasse von D auf G.

Anschließend wurden die Ergebnisse der einzelnen Endenergiebedarf-Werte (EEB) aller Versuchsobjekte gesammelt und verglichen. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Modellen (Schichtaufbau, HfE und OIB6) wurde diskutiert und besonders kritische Punkte in denselben wurden aufgezeigt. Die Analyse wurde grob in zwei Bereiche aufgeteilt: Der erste Teil beschreibt die Abweichungen zwischen den errechneten Endenergiebedarf-Werten mit dem Real-Verbrauch eines Haushaltes und der zweite Teil vergleicht die Ergebnisse des Endenergiebedarfs der Modelle OIB6 und HfE mit dem detaillierten Schichtaufbau.

Berechnete vs. reale Verbrauchswerte

Die Untersuchungen in dieser Arbeit zeigen, dass die berechneten EEB-Werte aus den drei beschriebenen Modellierungen den realen Verbrauch nicht widerspiegeln und um ein Vielfaches übertreffen. Die Abweichungen, bezogen auf den realen Verbrauch, reichen bis 350%. Im Schnitt liegt jeder berechnete Energieausweis aus dieser Studie um 87% über dem gemessenen Realverbrauch. Weiters wurden die Ergebnisse detaillierter untersucht und nach Nutzerprofil und Bauweise eines jeden Objektes klassifiziert. Hinsichtlich der Nutzerprofile – Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) – zeigen sich deutliche Unterschiede in den Abweichungen. Bei EFH liegen die Differenzen zwischen 108% und 127% und bei MFH streuen die errechneten Werte in Bezug auf den realen Verbrauch um ca. 70%.

Durch die Aufteilung in Bauweisen lt. ÖNORM B8110-6-1 [10, 9.1.1] lassen sich in dieser Masterarbeit ebenfalls maßgebliche Unterschiede ableiten. Die Abweichung bei leichten Bauweisen reicht von 70%-77%, jene bei mittelschweren Bauweisen von 59%-116% und jene für schwere Bauweisen von 106%-120%.

Default-Werte aus OIB6 und HfE vs. detaillierter Schichtaufbau aus der Bestandsanalyse

In einer weiteren Untersuchung wurden die Default-Werte aus OIB6 und HfE mit dem detaillierten Schichtaufbau verglichen. Dabei ergibt sich eine Abweichung des Default-Wertes aus dem HfE von maximal 112% zum detaillierten Schichtaufbau und eine Differenz von 70% aus der OIB6. Im Mittel liegen die Abstände bei 9% (OIB6) und 10% HfE. Auch in dieser Analyse wurden die Ergebnisse nach Bauweise und Nutzerprofil gruppiert. Die Streuung bei den Einfamilienhäusern reicht von 12% - 16% und bei den Mehrfamilienhäusern von ca. 8%-10%; gruppiert nach Bauweisen lassen sich im Mittel Differenzen von 2%-16% beweisen.

Da sich aufgrund der verschiedenen Berechnungen lt. ÖNORM B 8110-6 [10] und ÖNORM B 8110-5 [14] Ungenauigkeiten zeigten, wurden am Ende dieser Arbeit Verbesserungsvorschläge unterbreitet.

Stärken und Grenzen der Untersuchung

Die Stärken der vorliegenden Untersuchung liegen vor allem in ihrer spezifischen Betrachtungsweise. Parameter wie die Haustechnik wurden in den verschiedenen Modellierungen unverändert übernommen und haben so keinen Einfluss auf das Ergebnis. So kann ein eindeutiger Unterschied zwischen dem realen Verbrauch und den theoretischen Berechnungen bewiesen werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt in der Berechnung von Energieausweisen von Bestandsgebäuden unter variierenden Bauteileigenschaften (U-Wert, Gesamtenergiedurchlassgrad). Bedingt durch die Anzahl an Versuchsobjekten wurde die Möglichkeit konkrete Unterschiede zwischen den Modellen HfE und OIB6 auszuarbeiten nicht zur Gänze ausgeschöpft. Dies könnte Gegenstand einer umfangreicheren Untersuchung sein.

Literaturverzeichnis

- [1] Minna Sunikka-Blank, Ray Galvin. Der Prebound-Effekt: die Schere zwischen errechnetem und tatsächlichem Energieverbrauch. Fachthema, Hamburg, 2006.
- [2] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM EN ISO 6946: Bauteile und Bauelemente — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren*, Ausgabe: 2018-02-01.
- [3] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM H 5056-1: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Heiztechnikenergiebedarf*, Ausgabe: 2019-01-15.
- [4] Österreichisches Institut für Bautechnik. Oib-richtlinie 6 - leitfaden: Energietechnisches verhalten von gebäuden: Oib-330.6-028/19, Zugriff: 2020-03-23. https://www.oib.or.at/sites/default/files/aenderungen_leitfaden_oib-richtlinie_6_12.04.19.pdf.
- [5] Johannes Könighofer Frey, Konrad Haas. *Handbuch für Energieberater : eine Berechnungshilfe und Datensammlung für energiewirtschaftliche Berechnungen zu Bautechnik, Wärmeversorgung und Benutzerverhalten von Alt- und Neubauten mit zumindest wohnungsähnlicher Nutzung und einer benötigten Heizleistung unter 100 kW*. Forschungsgesellschaft Joanneum, Inst. für Energieforschung 1994, ausg. 1994, ringbuchversion. edition, 1994.
- [6] Rechenraum GmbH. Berechnung sonnenverlauf, Zugriff: 2020-06-15. <http://voibos.rechenraum.com/voibos/voibos?Datum=06-15-09%3A51&H=2&name=sonnengang&Koordinate=531539.836585417%2C5176155.888217&CRS=32633&Output=Formular%2CHorizont%2CSonnenzeit%2CCSVDdownload%2CTabelle>.
- [7] RIS – Rechtsinformationssystem des Bundes. Energieausweis-vorlage-gesetz 2012, Zugriff 2020-06-07. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007799>.
- [8] Statistik Austria. Gebäude, Zugriff: 2020-03-23. www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/wohnen/gebaeude_und_wohnungsregister/bestandsdaten/index.html.

- [9] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM H 5050-1: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Berechnung des Gesamtenergieeffizienzfaktors*, Ausgabe: 2019-01-15.
- [10] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM B 8110-6-1: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren*, Ausgabe: 2019-01-15.
- [11] H. Achten, O. Wetzell, E. Biener, H. Dieler, G. Haße, R. Jenisch, W. Krings, W. Lohse, O. Maas, et al. *Bautechnische Zahlentafeln*. Vieweg+Teubner Verlag, 2013.
- [12] C. Pöhn, A. Pech, T. Bednar, and W. Streicher. *Bauphysik : Erweiterung 1 : Energieeinsparung und Wärmeschutz, Energieausweis, Gesamtenergieeffizienz : [aktuell nach OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz] / Christian Pöhn ; Anton Pech ; Thomas Bednar ; Wolfgang Streicher*. Baukonstruktionen 1,1. Springer Vienna, 1. aufl.. edition, 2007.
- [13] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM H 5057-2: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 2: Raumlufthechnikeenergiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*, Ausgabe: 2019-11-01.
- [14] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM B 8110-5: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*, Ausgabe: 2019-03-15.
- [15] Land Steiermark Amt der Steiermärkischen Landesregierung. Gis-steiermark: Digitaler atlas, Zugriff: 2020-04-14. [https://gis.stmk.gv.at/atlas/\(S\(mzq0ku14fmzh5fcwfoboog5j\)\)/init.aspx?cms=da&karte=emptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hintergr,gel,dopags_tc,opbmgrau,opbm,uctc,opoverlay&sichtbar=_ortsplanGrau&gdiservices=kat,orient_adr](https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(mzq0ku14fmzh5fcwfoboog5j))/init.aspx?cms=da&karte=emptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hintergr,gel,dopags_tc,opbmgrau,opbm,uctc,opoverlay&sichtbar=_ortsplanGrau&gdiservices=kat,orient_adr).
- [16] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM B 8110-3: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung)*, Ausgabe: 2020-06-01.
- [17] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM B 8110-6: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren*, Ausgabe: 2014-11-15.
- [18] Austrian Standards Institute 2018. *ÖNORM EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen — Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Allgemeines*, Ausgabe: 2018-02-01.
- [19] Torsten Hoffman. Berechnung sonnenverlauf, Zugriff: 2020-04-23. <https://www.sonnenverlauf.de/#/46.7382,15.4128,19/2020.03.12/12:09/1/1>.
- [20] BP Europa SE. Lieferspezifikation: Heizöl extra leicht, euro-qualität, Zugriff: 2020-04-14. https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/fr_ch/switzerland/home/

produits-et-services/fuer-den-grosshandel/hel_euro_qualitaet_v2_1_01_03_2013_wos.pdf.

- [21] Geoland. Geoland viewer, Zugriff: 2020-06-15. https://www.geoland.at/webgisviewer/geoland/map/Geoland_Viewer/Geoland?presentation=dvg_schulen.
- [22] Statistik Austria. Wohnungsgröße von hauptwohnsitzwohnungen nach bundesland (zeitreihe), Zugriff: 2020-06-24. https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/wohnen/wohnsituation/081235.html.

Anhang

Nr	Standort	M.ü.A. [m]	Bauweise	Nutzungsprofil	BGF [m ²]	Kompakt. [A/V]	Baujahr	Heiztyp	Warmwasser	Realverbrauch [kWh/am ²]	Schichtaufbau [kWh/am ²]	HFE [kWh/am ²]	OIB6 [kWh/am ²]
1	Großklein	382	schwer	EFM	303	0,66	1991	Radiator	Hackschnitzl	133,08	125,71	149,96	158,41
2	Lieboch	342	schwer	EFM	280	0,75	1986	Radiator	Heizöl	88,02	201,30	265,24	219,86
3	Graz	369	mittelschwer	MFH	1106	0,39	1700	Radiator	Elektrisch	82,33	179,83	155,00	162,00
4	Deutschlandsberg	404	leicht	EFM	279	0,63	1991	Radiator	heizöl	203,10	224,38	220,89	241,08
5	Graz	345	mittelschwer	MFH	63	0,55	2014	Flächenheizung	Gas	46,50	72,65		76,32
6	Graz	353	schwer	EFM	148	0,82	1966	Infrarotkollektor	strom	106,14	126,60	268,78	217,64
7	Graz	368	sehr schwer	EFM	101	0,98	1900	Flächenheizung	Fernwärme	84,61	134,87	137,63	133,24
8	Eggendorf	405	leicht	EFM	232	0,68	2007	Flächenheizung	Wärmepumpe	29,23	48,84	46,65	49,78
9	Graz	449	schwer	EFM	426	0,58	1987	Radiator	Heizöl	99,21	132,60	144,78	155,50
10	Wals-Siezenheim	446	mittelschwer	Reihenhaus	127	0,8	2012	Radiator	Gas	128,03	162,45	164,91	157,64
11	Stainz	338	leicht	EFM	295	0,66	2010	Flächenheizung	Gas	43,98	102,22	116,34	123,97
12	Salzburg-Gnigl	439	schwer	MFH	250	0,48	1986	Radiatoren	Gas	89,16	89,21	137,29	139,96
13	Graz	353	sehr schwer	MFH	40	0,81	1867	Stromheizung	Strom	177,21	291,82	323,90	410,76
14	Osterhofen	311	schwer	EFM	438	0,68	1993	Radiator	Gas+Solar	71,46	275,36	250,53	218,50
15	Altriding	668	schwer	EFM	349	0,73	1989	Radiator	Heizöl	56,34	255,57	231,88	222,13
16	Graz	360	sehr schwer	MFH	1806	0,31	1900	Radiator	Fernwärme	68,87	100,03	119,14	111,88
17	Graz	369	schwer	MFH	918	0,44	1910	Radiator	Heizöl	64,38	119,40	126,33	122,18
18	Graz	351	schwer	MFH	4282	0,27	1930	Radiator	Fernwärme	70,54	155,02	147,89	145,28
19	Graz	345	mittelschwer	MFH	791	0,47	2004	Flächenheizung	Fernwärme	57,27	82,60	86,00	88,87
20	Graz	369	sehr schwer	MFH	1547	0,27	1900	Radiator	Fernwärme	117,67	138,52	153,64	145,99
21	Graz	360	schwer	MFH	689	0,4	1900	Radiatoren	Fernwärme	58,84	75,27	76,66	75,42
22	Graz	357	schwer	MFH	2496	0,35	1980	Flächenheizung	Fernwärme	43,46	56,12	59,00	54,00
23	Graz	353	schwer	MFH	77	0,28	1930	Radiator	Fernwärme	42,68	126,36	104,89	103,32
	Graz	354	schwer	MFH	1277	0,54	1931	Radiator	Fernwärme	105,30			