

Entwicklung einer strukturierten und fehlerminimierten Datenaufbereitung und Dokumentation für Energieausweise (EDEN)

B. Sommer, U.Pont

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

24/2017

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Entwicklung einer strukturierten und fehlerminimierten Datenaufbereitung und Dokumentation für Energieausweise (EDEN)

Arch. DI Bernhard Sommer,
DI Gabriela Adam; o.Univ.Prof. DI Dr.techn. Klaus
Bollinger; Christoph Matthes, BSc.; Mag. Arch. Damian
Minovski; Dipl.Ing. Malgorzata Sommer-Nawara
Universität für Angewandte Kunst, Abt, Energie Design

DI. Dr.techn. Ulrich Pont,
Univ.Prof. DI Dr.techn. Ardeshir Mahdavi, DI Olga Proskurnina,
DI Mahnameh Taheri
TU Wien, Abteilung Bauphysik und Bauökologie,

Wien, Jänner 2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform www.HAUSderZukunft.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Kurzfassung | 9 |
| Abstract | 12 |
| 1 Einleitung..... | 15 |
| 1.1 Aufgabenstellung..... | 15 |
| 1.2 Stand der Technik | 16 |
| 1.2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen..... | 16 |
| 1.2.2 Technische Anforderungen..... | 16 |
| 1.2.3 Berechnungsmethode..... | 17 |
| 1.2.4 Hilfsmittel | 18 |
| 1.3 Verwendete Methoden | 19 |
| 1.3.1 Verwendete Software zur Energieausweiserstellung und Validierung | 19 |
| 1.3.2 Verwendete Software für das Skript zur Erfassung von Eingabebereichen und Validierung..... | 20 |
| 1.3.3 Erstellen einer Datenbank | 21 |
| 1.3.4 Sample A für die Untersuchung der Auswirkung von Abweichungen bei den Eingabeparametern | 26 |
| 1.3.5 Sample B für die Untersuchung der Relevanz von Eingabefehlern..... | 29 |
| 1.3.6 Auswirkung von Abweichungen auf den Indikator Heizwärmebedarf (HWB) | 30 |
| 1.3.7 Relevanz bzw. Häufigkeit von Eingabefehlern und deren Auswirkungen auf den Indikator Heizwärmebedarf (HWB) | 30 |
| 1.3.8 Sensitivitätsanalyse | 30 |
| 2 Ergebnisse | 31 |
| 2.1 Fallstudien zum Sample A..... | 31 |
| 2.1.1 Abweichung bei der Geometrieingabe..... | 31 |
| 2.1.2 Abweichungen bei der Eingabe physikalischer Parameter..... | 44 |
| 2.1.3 Abweichungen beim Berechnungsverfahren | 55 |
| 2.2 Fallstudien zum Sample B..... | 57 |
| 2.2.1 Eingabefehler – Relevanz durch Häufigkeit..... | 57 |
| 2.2.2 Abweichungen bei der Geometrieingabe..... | 57 |
| 2.3 Ableiten einer Eingabedokumentation..... | 59 |
| 2.3.1 Elastizität der untersuchten Eingabeparameter am Beispiel der Gebäude des Samples A..... | 59 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.3.2 | Eingabedokumentation | 62 |
| 2.4 | Bezug zu den Zielen des Programms „Haus der Zukunft“ | 64 |
| 3 | Schlussfolgerungen | 64 |
| 4 | Ausblick und Empfehlungen | 66 |
| 4.1 | Überarbeitung der Default-U-Werte | 66 |
| 4.2 | Neukonzeption der Energiekennzahlen | 66 |
| 4.3 | Bedeutung transparenter Flächen | 66 |
| 5 | Verzeichnisse | 68 |
| 5.1 | Abbildungsverzeichnis | 68 |
| 5.2 | Tabellenverzeichnis | 71 |
| 5.3 | Literaturverzeichnis | 72 |
| 6 | Anhang | 74 |

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war eine substantielle Behandlung der Problematik der mangelnden Reproduzierbarkeit der Resultate von Energieausweisen in der Praxis. Bei Betrachtung der gelebten Praxis zeigt sich, dass viele Energieausweise, welche im generellen eine maximale Lebensdauer (Gültigkeit) von 10 Jahren aufweisen, in sehr unterschiedlicher Art und Weise verfasst werden, so dass die ursprüngliche Intention der Vergleichbarkeit von Objekten nicht mehr gegeben ist. Auch die Berechnungsmethoden haben sich durch Überarbeitung der für die Erstellung verbindlicher Richtlinien, Leitfäden und Normen immer wieder verändert. Problematisch ist dies umso mehr, als das für einen Großteil der bestehenden und zu errichtenden Gebäude Energieausweis verpflichtend vorhanden sein müssen, bzw. erstellt werden müssen. Erschwerend kommt hinzu, dass inzwischen nicht nur die thermische Qualität von Neubauten und Sanierungen über Energieausweise nachzuweisen sind, sondern sogar Förderungen für Neubauten und thermische Instandsetzungen an die Ergebnisse des Energieausweisverfahrens gekoppelt sind.

Inhalte und Zielsetzungen

Dezidiertes Ziel des Forschungsantrags war die Entwicklung einer strukturierten und fehlerminimierten Datenaufbereitung und Eingabedatendokumentation. Unter Annahme einer nur marginal abweichenden Berechnungsgenauigkeit zwischen den verschiedenen Tools zur Berechnung von Energieausweisen ist anzunehmen, dass eine solche Datendokumentation die Reproduzierbarkeit von Energieausweisen gewährleisten oder zumindest erhöhen sollte. Dies würde die Rechtssicherheit für alle involvierten Stakeholder erhöhen, und die Gefahr von Manipulation oder Fehleranfälligkeit stark reduzieren.

Methodische Vorgehensweise

Die Entwicklung einer generisch verwendbaren, standardisierten Eingabedatendokumentation wurde in folgenden Arbeitsschritten abgehandelt (siehe Abbildung 1 links):

- Zusammentragen von nationalen und internationalen Richtlinien, Leitfäden, Normen und Best- and Worst Practice Beispielen
- Erstellung eines Gebäudesamples als „Use-Case“
- Erstellen von Energieausweisen für das Gebäudesample unter Berücksichtigung auftretender Eingabe-Datenunsicherheiten
- Anwenden von wissenschaftlichen Methoden der Mathematik und Statistik zur Abschätzung des Effekts von bestimmten (Fehl-)Annahmen.
- Ableitung einer Eingabedatendokumentation die auf beliebige und generische Bauwerke und Energieausweise übertragbar ist.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Insbesondere der Kern dieser Arbeit, das Zusammentragen eines Gebäudesamples, das Durcharbeiten dieses Samples unter Berücksichtigung auftretender Eingabe-Datenunsicherheiten wurde mit der Bearbeitung von mehr als 85 Gebäuden und 149 thermische Zonen sehr ausführlich behandelt und damit eine solide Basis für das Ableiten der Eingabedatendokumentation gebildet. Die Samplebildung erfolgte anhand von verschiedenen Gebäudekenndaten (Nutzung, Größe, Baualter, etc.). Für Zwecke der Detail-Evaluierung wurden 16 Bauten ausgewählt, mit welchen eine ganze Reihe weiterer Untersuchungen durchgeführt wurde. Im Zuge der Arbeiten stellte sich heraus, dass die manuelle Bearbeitung von Energieausweisen, bzw. das Nachziehen von Eingabedaten in immer neue Energieausweis-Dateien zeit- und arbeitsintensiv ist. Daher wurde – über die ursprüngliche Planung hinausgehend eine eigene Software-Umsetzung erarbeitet, mit welcher KPI(s) (Key Performance Indikatoren) wie der HWB (Heizwärmebedarf) von Gebäuden „dynamisch“ nachvollzogen werden können. Im Detail wurde mittels der Programmierschnittstelle Grasshopper das Energieausweisverfahren so nach geskripted, dass ein durchgehendes graphisches Feedback bei Veränderung von Eingabedaten geliefert wird. Dadurch gewinnt man unmittelbar Einblick in die Art der Auswirkung möglicher Fehler.

Unsicherheitskategorien für Energieausweise wurden basierend auf den Erfahrungen der eigenen Sensitivitätsuntersuchungen gegliedert (siehe Abbildung 1, rechts). Zu Zwecken der besseren mathematisch-statistischen Beurteilung des Einflusses von Abweichungen bei Eingabedaten sowie für die Ableitung der Eingabedatendokumentation wurden verschiedene Methoden aus anderen Disziplinen studiert und übertragen. Dazu gehören die vor allem in der Volkswirtschaft verwendete Elastizität und die ABC-Portfolioanalyse, welche sehr viel in der Produktionswissenschaft sowie im Aktienhandel eingesetzt wird.

| Methodological steps | Uncertainty categories |
|---|---|
| (i) Comprehensive literature and data collection, including issuers' current data acquisition practices. | (i) urban context of the building (insolation, adiabatic components) |
| (ii) Generation of a database of sample buildings (different size, age, usage, etc.). A set of these sample buildings is selected for in-depth examination of uncertainties regarding input data (case studies). | (ii) Usage of the building (heated/unheated, zoning, internal gains) |
| (iii) Calculation of energy certificates for the selected case-study buildings. | (iii) Thermal properties of building envelope (Layered constructions, default values) |
| (iv) Identification of potential uncertainties in the input data and of these uncertainties. Parametric variation of the "uncertain" input parameters and impact sensitivity analysis (on Key Performance Indicators) | (iv) Glazing attributes and solar gains (frame/glazing ratio, g-values of windows) |
| (iv) Derivation of a comprehensive input data documentation (with special focus on the examined uncertainties). | (v) HVAC systems of the building |
| | (vi) Insufficiently considered parts and components of the building envelope (geometry) |

Abbildung 1: Methodische Vorgangsweise (links); Im Projekt erstellte Kategorisierung der Eingabedatenunsicherheiten für Energieausweise (rechts)

Ausblick

Wesentlich ist es auch, sich noch einmal zu vergegenwärtigen, in welchem Setting die F&E-Bemühungen dieses Projektes eingebettet sind: Das EU-Energieeffizienzziels (20 Prozent Primärenergieeinsparung EU-weit bis 2020), das mit der am 4.12.2012 in Kraft getretenen Richtlinie 2012/27/EU in verbindliche Maßnahmen überführt werden soll, ist immer noch

aktuell. Im Nationaler Energieeffizienzaktionsplan (NEEAP 2014) nehmen Energieeffizienzmaßnahmen in Gebäuden und hier wiederum insbesondere Gebäuderenovierungsstrategien immer noch einen wesentlichen strategischen Stellenwert ein. Da zum Beispiel Förderungen für thermische Sanierungen an Energieausweise gekoppelt werden, ist die Integrität dieser Berechnungen von entscheidender Bedeutung für das Erreichen der Energieeffizienzziele. Die Ziele und Ergebnisse dieses Forschungsprojekts sind daher von größter Aktualität.

Es konnte nicht nur die fehlerminimierte Eingabedokumentation erstellt werden, sondern bildet die Arbeit eine umfassende Dokumentation, die als Grundlage zur Verbesserung, Präzisierung und Verlässlichkeit der involvierten Berechnungsmethoden genutzt werden kann.

Abstract

Starting point/Motivation

The main target of the herein presented research efforts was approaching/improving the quality of energy certificates for buildings in Austria. A major problem that can be found in everyday practice regarding energy certificates is the lack of reproducibility due to incomplete documentation or erroneous calculation input data assumptions. Energy certificates have a validity of maximum 10 years, and – in Austria – the first ten year period is now coming to an end. For this period a wide range of different styles and manners of issuing certificates by different practitioners can be observed, which results in a severe lack of comparability between different certificates / different buildings. Moreover, the calculation methods have been constantly further developed and changed, so that differences can be caused by the change of method as well. Furthermore, in between close to all buildings require an energy certificate to be issues. A crucial aspect is that subsidies for thermal retrofit and increased thermal quality of new buildings are directly depending on the results of energy certificates, which seems critical, given the deviations in the certification results caused by different input data assumptions, different issuer's approaches and methodologies, and erroneous input data assumptions.

Contents and Objectives

The main goal of this research work was the development of easy-to-use methods for input data documentation. Such a documentation – given the negligible result differences between different energy certification tools – should ensure an increased reproducibility of the certificates. Given the legal meaning of energy certificates, such documentation could help to reduce uncertainties and increase the quality of certification in general.

Methods

The development of the input data documentation was performed based on the following methodological steps:

- Collection of national and international guidelines, laws, and standards, as well as a collection of best and worst practice examples.
- Establishment of a building database encompassing a wide range of different buildings. This database should be used to extract sample buildings for in-depth examination.
- Issuing of energy certificates of the sample buildings, and documentation of experienced input data uncertainties.
- Utilization of scientific methods from mathematics and statistics to assess the impact of input data deviations on the results of energy certificates.
- Derivation of a comprehensive and convenient input data documentation routine, which can be used for generic buildings and their energy certification.

Results

The different parts of the project all were worked on carefully: The collection of sample buildings for a database of buildings, for instance, resulted in 85 buildings (including 149 thermal zones) and their plan documents, input data documentation and (in part) existing energy certificates. Thus it was well suited to act as a base for the derivation of sample buildings which were worked on in detail: Building samples were chosen based on key data of the buildings, such as Usage, Size, Age, and others. 16 buildings were chosen and examined in detail. During the work it turned out that the manual change of input data parameters not only is very time-consuming, but rather error-prone. Therefore, the original conception of the project was extended by a software tool which helped to better understand the dependencies between independent (input) variables and the dependent KPIs (Key performance indicators). For the heating demand (“Heizwärmebedarf”) a script was developed in the parametric scripting language grasshopper, which allowed changing several input variables and dynamically seeing the change in the results. In this fashion, the identification if a input variable can be considered as strong or weak regarding the influence on the result was facilitated.

Uncertainties were categorized based on previous experiences, the calculation of sample buildings in the project and a repetitive analysis approach. The uncertainty categorization is illustrated in Figure 2 (right side). To better assess the uncertainties regarding their impact, methods regularly utilized in other fields of science, such as the elasticity (known from economics) and the ABC-portfolio analysis (which is used in stock broking and production logistics a lot), were adopted and used on the input and output datasets.

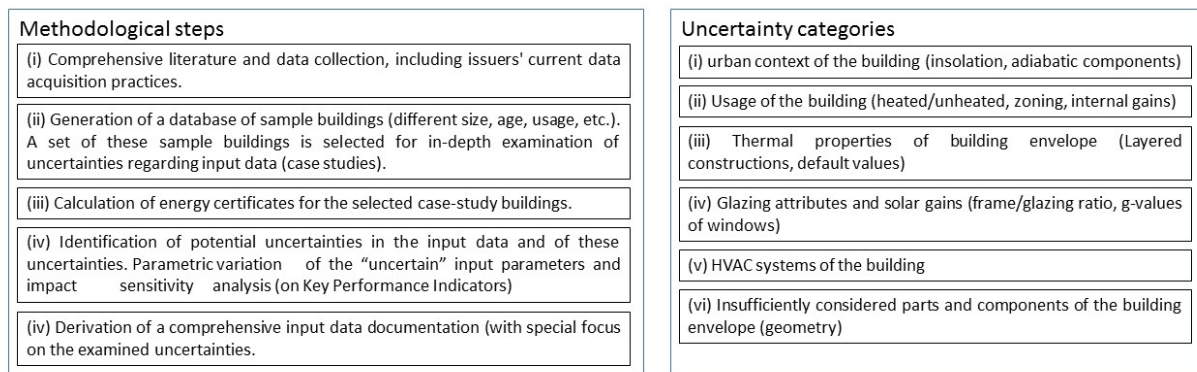


Abbildung 2: Methodological steps (left); Categories of uncertainties in building energy certificate input data (right);

Prospects / Suggestions for future research

It is important to reconcile on the background of this research. The European efficiency goals (20 percent reduction of primary energy usage within the EU until 2020) focus – amongst others – on buildings. This resulted in the EU guideline 2012/27/EU. The Austrian national energy efficiency program NEEAP 2014 mentions energy efficiency measure in buildings, especially in deep renovation programs, as of highest strategic importance. Subsidies and incentives toward retrofit are coupled with building energy efficiency calculations. Therefore,

the goals and results of the EDEN project can be considered as important for this playing field.

The results do not only encompass a input data documentation approach, but also offer a wide range of improvement ideas and concepts to in future increase both the reliability and comparability of energy certificate calculations for buildings.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Seit 2007 gibt es in Österreich die Verpflichtung für alle zu errichtenden, zu sanierenden und am Immobilienmarkt auftretenden Gebäude einen Energieausweis zu erstellen. Während die prinzipielle Absicht – nämlich einen informativen, energiebezogenen Indikator für Bauwerke für alle betroffenen Stakeholder zur Verfügung zu stellen – löblich ist, krankt es seit der gesetzlichen Implementierung doch fundamental an der Aussagekraft des Energieausweises. Die mangelnde Reproduzierbarkeit von ausgestellten Energieausweisen hat mitunter mit den nicht in ausreichender Form dokumentierten, vom Ersteller verwendeten, Eingabedaten zu tun, welche zum Teil auf harten Fakten, zum Teil aber auf vagen Annahmen beruhen. Im folgenden ist daher weniger von Fehlern als von Abweichungen die Rede. Fehler - zum Beispiel von Messungen - wären wie folgt einzuteilen:

- statistische Fehler
- systematische Fehler

Vorauszuschicken ist also, dass bezüglich der Art der Abweichungen keine statistischen Fehler diskutiert werden (also Messungenauigkeiten, die zufällig sind und in alle Richtungen vorkommen können). Diese werden mit den Methoden der Statistik untersucht und können zum Beispiel durch die Gauß'sche Fehlerkurve dargestellt werden können. Solche Genauigkeiten könnten erst diskutiert werden, wenn gewährleistet ist, dass tatsächlich alle Anwender von denselben Eingabedaten ausgehen und Unsicherheiten und Interpretationsspielräume minimiert werden. Dennoch werden im Bereich der Geometrieangabe prozentuelle Abweichungen diskutiert. Diese sind aber üblicherweise eher auf unterschiedliche Interpretationen von Planunterlagen oder eine unzureichende Bestandsaufnahme zurückzuführen. Wir haben es bei der mangelnden Vergleichbarkeit von Energieausweisen also mit systematischen Fehlern zu tun, die jeder für sich reproduziert werden könnten, hätte man die entsprechende Dokumentation der Eingabedaten und – überlegungen vorliegen.

Das gegenständliche Forschungsprojekt hat sich dieser Problematik angenommen, und zwar via Entwicklung einer standardisierten und leicht verwendbaren, generischen Eingabedatendokumentation, welche für alle Stakeholder erhöhte Rechtssicherheit und reduzierte Unsicherheit bedeuten würde. In dem Sondierungsprojekt wurde die Entwicklung einer solchen Dokumentation anhand von repräsentativ auszuwählenden Gebäudesamples durchexerziert. Dabei wurde der Ergebnisraum, der sich durch Eingabedatenunsicherheiten ergeben kann, erschlossen. Darauf aufbauend wurde und wird in Publikationen, sowie in den erforderlichen Berichten, das Potential einer solchen Entwicklung diskutiert.

1.2 Stand der Technik

1.2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Bei der eng eingegrenzten Thematik dieses Projektes, das ausschließlich die bessere Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von Energieausweisen ausgehend von der vom Gesetzgeber in Kraft gesetzten Berechnungsmethode untersucht, wird der Stand der Technik im Wesentlichen durch die aktuellen und historischen Normen und Richtlinien beschrieben, die für die Erstellung heranzuziehen sind. Erstmals gesetzlich verbindlich vorgeschrieben wurde das Erstellen von Energieausweisen mit dem EAVG vom 3. August 2006. Dieses sah vor, dass spätestens ab 1. Jänner 2008 österreichweit eine Vorlagepflicht bei der „In-Bestand-Gabe“ eines Gebäudes gilt. Mit dem EAVG 2012 vom 20.4.2012 wurden auch Strafbestimmungen für das Nicht-Vorlegen eines Energieausweises eingeführt. Darüber hinaus, beziehungsweise auch auf Grundlage dieses Gesetzes sehen die Landesbauordnungen das Vorlegen von Energieausweisen bei der Baueinreichung von Neu, Zu- und Umbauten vor. Sie legen auch technische Anforderungen und Methoden fest. In Österreich wurde dazu in allen neun Landesbauordnungen die OIB-Richtlinie 6 für verbindlich erklärt:

„Die OIB-Richtlinien dienen der Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften in Österreich. Sie werden vom Österreichischen Institut für Bautechnik nach Beschluss in der Generalversammlung herausgegeben und stehen damit den Bundesländern zur Verfügung. Die Bundesländer können die OIB-Richtlinien in ihren Bauordnungen für verbindlich erklären, was bereits in allen Bundesländern der Fall ist (siehe Tabelle).“¹

1.2.2 Technische Anforderungen

Die Anforderungen an verschiedene einzuhaltende Energiekennzahlen sind in der OIB Richtlinie 6 geregelt. Seit dem erstmaligen Inkrafttreten des Energieausweisvorlagegesetzes wurde die OIB Richtlinie 6 zwei Mal novelliert. Die unterschiedlichen Version wurden je nach Bundesland zu unterschiedlichen Zeitpunkten durch Landesrechtliche Verordnungen verbindlich erklärt, siehe Tabelle 1: Fassungen und Inkrafttreten der OIB Richtlinien.

Tabelle 1: Fassungen und Inkrafttreten der OIB Richtlinien

| OIB | Richtlinie 6: 2007 ² | Richtlinie 6: 2011 ³ | Richtlinie 6: 2015 ⁴ |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Burgenland | 1. Juli 2008 | 8. Februar 2013 | 25. Oktober 2016 |
| Kärnten | 20. Februar 2008 | 1. Oktober 2012 | 14. September 2016 |
| Niederösterreich | 13. Februar 2009 | 1. Februar 2015 | 15. April 2016 |
| Oberösterreich | 1. Jänner 2009 | 1. Juli 2013 | 2011 noch in Kraft |
| Salzburg | 1. April 2011 | 1. Oktober 2014 | 1. Juli 2016 |

| | | | |
|------------|----------------|-------------------|-----------------|
| Steiermark | 5. Juli 2008 | 1. Jänner 2013 | 1. Jänner 2016 |
| Tirol | 1. Jänner 2008 | 1. September 2013 | 1. Mai 2016 |
| Vorarlberg | 1. Jänner 2008 | 1. Jänner 2013 | 1. Jänner 2017 |
| Wien | 12. Juli 2008 | 1. Jänner 2013 | 2. Oktober 2015 |

1.2.3 Berechnungsmethode

Zu den jeweils aktuellen OIB Richtlinien wurden Leitfäden publiziert, in denen unter dem Punkt Berechnungsmethode auf die für die Energieausweiserstellung anzuwendende Normen verwiesen wurde, siehe Tabelle 2: ÖNORMen die für die Berechnungsmethode heranzuziehen sind. Dabei findet sich die jeweilige Fassung der zitierten Normen im ebenfalls zu jeder Version der OIB Richtlinien publizierten Dokument „OIB Richtlinien – Zitierte Normen und sonstige technische Regelwerke“. In diesem Sondierungsprojekt wurde der Fokus auf mögliche Eingabefehler, Ungenauigkeiten oder Interpretationsspielräume bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs für den Energieausweis gelegt. Die validierten und in Österreich üblichen Hilfsmittel (Programme) zur Berechnung des Heizwärmebedarfs für Energieausweise wenden das Monatsbilanzverfahren (quasi-stationäres Verfahren) an. Verluste und Gewinne werden entsprechend der Heiztage im jeweiligen Monat summiert. Die Bilanzierung erfolgt mittels der aus der allgemeinen Wärmebilanzgleichung hergeleiteten Formel 1 und Formel 2, wie sie in der ÖNORM B 8110-6 und in der ÖNORM EN 13790 zitiert ist.

Formel 1:

$$Q_{h,a} = \sum_j (Q_{h,j,SK})$$

Formel 2:

$$Q_{h,j,SK} = (Q_{l,j} - \eta_{h,j} \times Q_{g,j}) \times (HT_j / MT_j)$$

Es bedeutet:

$Q_{h,a}$ jährlicher Heizwärmebedarf in kWh/a

$Q_{h,j,SK}$ monatlicher Heizwärmebedarf bei Berechnung mit Standortklimabedingungen, in kWh/M

$Q_{l,j}$ gesamte Wärmeverluste im jeweiligen Monat in kWh/M

$\eta_{h,j}$ Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne im Heizfall im jeweiligen Monat

$Q_{g,j}$ gesamte Wärmegewinne im jeweiligen Monat, in kWh/M

HT_j Heiztage im jeweiligen Monat gemäß ÖNORM H 5056, in d

MT_j Tage im jeweiligen Monat gemäß ÖNORM B 8110-5, in d

Tabelle 2: ÖNORMen die für die Berechnungsmethode heranzuziehen sind

| Normen: zitierte Fassungen | Richtlinie 6: 2007 ⁵ | Richtlinie 6: 2011 ⁶ | Richtlinie 6: 2015 ⁷ |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| für den Nutzenergiebedarf | | | |
| ÖNORM B 8110-6 | 2007-08-01 | 2010-01-01 | 2014-11-15 |
| ÖNORM H 5057 | 2007-08-01 | 2011-03-01 | |
| für den Endenergiebedarf | | | |
| ÖNORM H 5056 | 2007-08-01 | 2011-03-01 | 2014-11-01 |
| ÖNORM H 5058 | 2007-08-01 | 2011-03-01 | |
| ÖNORM H 5059 | 2007-08-01 | 2010-01-01 | 2010-01-01 |
| ÖNORM H 5050 | nicht zitiert | nicht zitiert | 2014-11-01 |
| Standortklima und Nutzungsprofile | | | |
| ÖNORM B 8110-5 | 2007-08-01 | 2011-03-01 | |
| für die Geometrie | | | |
| ÖNORM B 1800 | 2002-01-01 | | 2013-08-01 |
| für die Empfehlungen | | | |
| ÖNORM B 8110-4 | 1998-09-01 | 2011-07-15 | |
| ÖNORM M 7140 | 2004-11-01 | | 2013-07-01 |
| für die Zonierung | | | |
| ÖNORM EN 13790 | 2001-05-01 | 2008-10-01 | |
| für die Sommertauglichkeit | | | |
| ÖNORM B 8110-3 | 1999-12-01 | | 2012-03-15 |

1.2.4 Hilfsmittel

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit konnten folgende kommerziellen Softwarepakete für die Berechnung von Energieausweisen ermittelt werden, siehe Tabelle 3: EDV-Programme für die Energieausweisberechnung in Österreich.

Tabelle 3: EDV-Programme für die Energieausweisberechnung in Österreich

| Name des EDV-Programms | Entwickler und Vertrieb | Adresse |
|--|---------------------------|---|
| AX3000 ⁸ | Nemetschek GmbH | Oberst-Lepperdinger-Straße 19 5071 Wals-Siezenheim, www.nemetschek.at |
| ArchiPHYSIK ⁹ | A-NULL Development GmbH | Mittersteig 10 1050 Wien www.archiphysik.at |
| GEQ ¹⁰ | Zehentmayer Software GmbH | Minnesheimstraße 8b 5023 Salzburg www.geq.at |
| BuildDesk Gebäuderechner (Ecotech) ¹¹ | BuildDesk Österreich GmbH | Kapuzinerstraße 84e 4020 Linz www.ecotech.cc |
| „Der Gebäudeprofi“ ¹² | ETU GmbH | Traungasse 14 4600 Wels www.etu.at |

1.3 Verwendete Methoden

Das vorliegende Projekt basiert auf der vergleichenden Berechnung von Energieausweisen. Es wurde eine Datenbank existierender Gebäude angelegt, um eine hinreichende Anzahl von Vergleichsobjekten zu bekommen. Die in Tabelle 2: ÖNORMen die für die Berechnungsmethode heranzuziehen sind angeführten Normen beschreiben daher die Berechnungsmethoden, die die Grundlage dieser Forschungsarbeit bilden. Die bei Projektstart aktuelle OIB Richtlinie 2011 bildet dabei den Ausgangspunkt der meisten Berechnungen. Abweichungen, wenn zum Beispiel die Auswirkung verschiedener historischer Berechnungsmethoden untersucht werden sollen, sind gesondert angeführt.

1.3.1 Verwendete Software zur Energieausweiserstellung und Validierung

Für ArchiPHYSIK und GEQ wurden zu Beginn des Projektes die Validierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6:2010 berechnet, um sicher zu gehen, dass das Forschungsteam dieselben Ergebnisse produziert und die Software beherrscht. Die Validierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6:2014 wurden erst im Laufe des Projekts publiziert. Diese wurden später für die Entwicklung des Grasshopper/C#-Tools herangezogen. Auf Grund größerer

Erfahrung der Bearbeiter und auch weil A-Null Development, die Entwickler der Software ArchiPHYSIK, für das Feedback als Opinion Leader gewonnen werden konnten, wurde in weiterer Folge für die Durchführung des Projektes mit ArchiPHYSIK gearbeitet. Sämtliche Validierungsbeispiele der in Tabelle 4: Validierungsbeispiele zur ÖNORM B 8110-6:2010 angeführten Normen konnten mit beiden EDV-Programmen, ArchiPHYSIK und GEQ, erfolgreich nachgerechnet werden.

Tabelle 4: Validierungsbeispiele zur ÖNORM B 8110-6:2010

| | Datum | Inhalt | Validierung nachvollzogen |
|------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Beiblatt 1 | 2011-03-01 | Validierung Einfamilienhaus (EFH) | ja |
| Beiblatt 2 | 2011-03-01 | Validierung Mehrfamilienhaus (MFH) | ja |
| Beiblatt 3 | 2011-03-01 2012-10-15 2013-08-01 | Validierung Nicht-Wohngebäude (NWG) | ja nur für Version 2013-08-01 |
| Beiblatt 4 | 2011-03-01 | Validierung Passivhaus (EFH und MFH) | nein |

1.3.2 Verwendete Software für das Skript zur Erfassung von Eingabebereichen und Validierung

Um die Auswirkung von Abweichungen von Eingabeparametern auf das Ergebnis der Energiekennzahlberechnung nicht nur anhand von einzelnen, jeweils aufs Neue zu berechnenden Energieausweisen zu erfassen, wurde ein Skript entsprechend der ÖNORM B 8110-6:2014 (und damit der OIB Richtlinie 2015) entwickelt, das die Eingabe von Parameterbereichen (Definitionsgebiete / Domains) erlaubt. Im gegebenen zeitlichen und budgetären Rahmen, wurde dieses Skript nur für das Nutzungsprofil Einfamilienhaus (EFH) entwickelt. Mittels der graphischen Programmierschnittstelle Grasshopper, einem grafischen Algorithmus-Editor für das CAD/CAM-Programm Rhinoceros, wurde das Energieausweisverfahren, großteils in der Programmiersprache C#, so nachgebildet, dass ein durchgehendes graphisches Feedback innerhalb eines festgelegten Bereichs von Eingabeparametern geliefert wird. Abbildung 2 zeigt die Benutzeroberfläche, sowie das grafische Skript in Grasshopper. Das Skript wurde für die Validierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 1:2015, Variante 1, Fall 2 erfolgreich validiert. Fall 2 bedeutet Bilanzierung gemäß ÖNORM H 5050:2014, Abschnitt 6.2.6 – $Q_{h,Ref,RK}$ bzw. $HWB_{h,Ref,RK}$.

Die Validierungsbeispiele unterscheiden sich durch den Anteil der Verglasung und die Bauweise, siehe Tabelle 5.

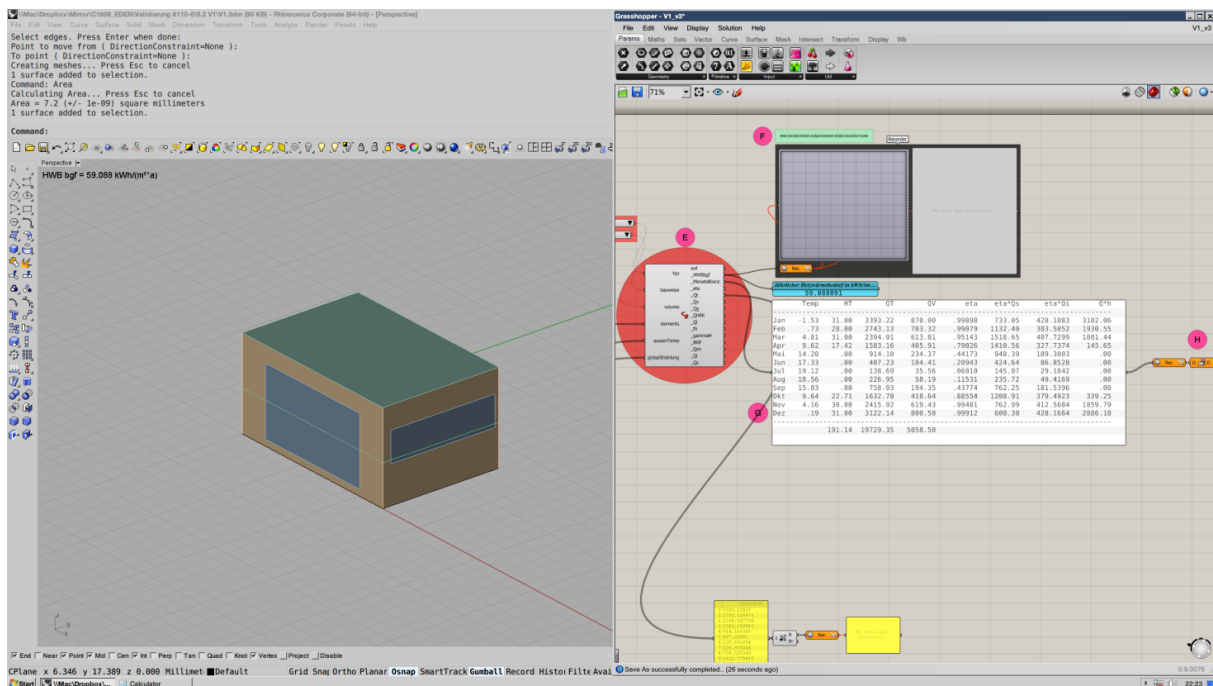


Abbildung 2: Grasshopper-Skript mit C#-Components und Darstellung im 3D-Fenster von Rhino3d.

Tabelle 5: Validierungsbeispiele zur ÖNORM B 8110-6, Bbl 1:2015-11-15

| | Anteil der Verglasung | Anteil der Verglasung | Bauweise | mittlerer U-Wert | Validierung erfolgreich |
|---|-----------------------|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------------|
| | [%] | [m ²] | | [W/m ² K] | |
| V 24 | 10 | 24,00 | leicht | 0,34 | ja |
| V 48 | 20 | 48,00 | mittelschwer | 0,40 | ja |
| V 72 | 30 | 72,00 | schwer | 0,46 | ja |
| EFH (LxBxH): 12 x 8 x 6 $U_{OD} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{AW} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{FE} = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{KD} = 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$ | | | | | |

1.3.3 Erstellen einer Datenbank

Zur Verwendung in diesem Forschungsprojekt und für weitere Forschungsbemühungen wurde eine eigene Datenbank aufgebaut. Bestehende Datenbanken, wie der Versuch im Rahmen des TABULA Projektes Gebäudetypologien für Österreich zu definieren, lassen vielfach erforderliche Daten vermissen, welche dann extra erhoben hätten werden müssen (was in Anbetracht der österreichweiten Streuung und der Teil-Generizität der Daten dieser Datenbank schwierig geworden wäre). Daher wurde auf bestehende Bauwerke in Wien und in der nahen Umgebung zurückgegriffen. Von diesen Objekten wurden verfügbare Pläne, Aufbauten, Baudokumentationen und andere Dokumente wie bestehende Energieausweise

gesammelt und eine Übersichtstabelle erstellt, welche mit Schlüsseldaten der Objekte befüllt wurde (sofern vorhanden). Zum einfacheren Handling und zur genauen Bearbeitung wurde bereits in diesem Stadium eine Differenzierung in thermische Zonen vorgenommen, sofern erforderlich (die Zonierung erfolgte lt. OIB Leitfaden). In Summe wurden auf diese Weise 85 Bauwerke mit 149 thermischen Zonen ausführlich dokumentiert (Siehe Abbildung 3). In Abbildung 7 ist dargestellt, welche Zusatzdaten eingetragen wurden, sofern vorhanden. Es wurde ein eigener Schlüssel aus einigen dieser Zusatzdaten generiert, der jede Zone eindeutig identifizierbar macht. Außerdem wurden die Bauwerke wie auch die Daten von Energieausweiserstellern anonymisiert um den Anforderungen des Datenschutzes zu entsprechen. In den Abbildungen 5 – 7 ist ersichtlich, dass die Bauwerke der Datenbank durchaus eine gewisse Repräsentativität für den Gesamtbaubestand aufweisen (Abbildung 4 zeigt die mittleren U-Werte in Relation zum Baualter; Abbildung 5 zeigt errechnete Heizwärmebedarfszahlen von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden in Relation zum Baualter; Abbildung 6 zeigt, dass keine zunehmende Kompaktheit der Bauwerke abhängig von deren Alter ersichtlich ist).

| ID | Urban Situation | Deckenmaß der oberirdischen Grundfläche | Höhe (m) | Vorrichtung | | Zonierung | Erfolgreiche Fassade / Dachmaterial | Orientierung der Hauptfassade | Dachform | Gebäudetechnik (Heizung, Lüftung, Solar) | Foto und Bildkennung | Nutzzone (Kategorie/Nummer) | EZ (Baujahr) | Geb.N: (Grundstücknummer) | Postleitzahl | Strasse, Hausnummer | Flächencharakter und Bebauungsplan (Flächencharakter, Baubestand, Baubestand) | E-W (wenn existiert) | HWB (kWh/m²·a) - BK | HWB* (kWh/m²·a) - BK | K (m) | Kompaktheit (lit) | Mittel U-Wert (W/m²·K) | Berechnungen | Verfasser | Berechnungsverfahren |
|-----------------------------|-----------------|---|----------|---|---|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------|--|----------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---|----------------------|---------------------|----------------------|-------|-------------------|--------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| | | | | Gegenüberliegende Gebäude Höhe und Entfernung (m) | Selbstverschattung (Erker, Balkon, Terrasse etc.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 001_WM_1907_R | S | 7 | 26,94 | | | 1.Stock bis DG | | NW | F | HDH/gas, FL | ja | Innere Stadt | 848 | 355 | 1010 | Parlegasse 4 | GB_V_g | ja | 194,78 | 2,37 | 0,42 | 1,469 | | Exikon | 2011 | |
| 001_B_1907_R | S | 7 | 26,94 | | | EG und Mezzanin | | NW | F | HDH/gas, FL | ja | Innere Stadt | 848 | 355 | 1010 | Parlegasse 4 | GB_V_g | ja | 63,98 | 1,96 | 0,51 | 1,417 | | Exikon | 2011 | |
| 002_WM-Hofstraß_1899_R | S | 6 | 21,3 | E_18,96 | T | EG, M, OG 1-3, DG | | S | HDH/gas, FL | ja | Leopoldstadt | 2337 | 1781/210 & 1781/20 | 1020 | Böcklinstraße 68 | W_V_g | ja | 144,92 | 3,06 | 0,33 | 1,44 | | Exikon | 2007 | | |
| 002_WM-Strassenstraß_1899_R | S | 6 | 21,3 | E_18,96 | T | EG, M, OG 1-3, DG | | S | HDH/gas, FL | ja | Leopoldstadt | 2337 | 1781/210 & 1781/20 | 1020 | Böcklinstraße 68 | W_V_g | ja | 132,92 | 3,12 | 0,32 | 1,427 | | Exikon | 2007 | | |
| 003_WM_...L | E | 4 | 15,31 | E_11,38 | | EG bis 3OG | | S | HDH/gas, FL | nein | Leopoldstadt | 1261 | 820/1 | 1020 | Pillersdorfstraße 1 | W_RI_g | ja | 133,77 | 2,79 | 0,36 | 1,19 | | DI Vera Kromb & Gmbh | 2007 | | |
| 004_WM_1885_L | S | 7 | 24,384 | E_15,17 | T | EG, OG 1-4, DG, GG | | S | HDH/gas, FL | ja | Landstraße | 1103 | 247/16 und 247/17 | 1030 | Parlegasse 1 | GB_V_g | ja | 106,12 | 3,24 | 0,31 | 1,268 | | Exikon | 2007 | | |
| 005_WM_1951_L | S | 6 | | E_13,27 | 8,T | | | S | HDH/gas, FL | ja | Margarethen | 1059 | 901/1 | 1050 | Zentgasse 27-29 | W_RI_g | ja | 121,36 | 2,62 | 0,38 | 1,351 | | TÖV Austria Control GmbH | 2007 | | |
| 006_WM_1903_R | F | 5 | 21 | | | Partiere bis 3.Stock | | NW | S | HDH/gas, FL | ja | Mariahilf | 1272 | 728/21 | 1060 | Wormelstraße 2 | W_V_g | ja | 179,92 | 3,05 | 0,33 | 1,655 | | Exikon | 2011 | |

Abbildung 3: Auszug aus der erstellten Gebäudedatenbank (Nummer_Nutzungsprofil_Baujahr_Morphologie); Nutzungsprofil: WE - Wohnhaus Einfamilienhaus, WM - Wohnhaus Mehrfamilienhaus, B - Bürogebäude, HS - Höhere Schulen und Hochschulen, KP - Kindergärten und Pflichtschulen, WG - Wohn- und Geschäftshaus, V - Verkaufsstätten, VS - Veranstaltungsstätten, G - Gaststätten; Morphologie: R- (Rechteck), I-, L-, U-, T-, O-, H-form, Urbane Situation: F - freistehend, S - in einer Straßenzeile, E- Ecklage; Höhe: vom anschließenden Gelände; Zonierung (W, B, HS, KP, V- Verkauf, L-Lokal, T-technik, roh - nicht benutzt); Dachform (Steildach – S, Flachdach – F); Gebäudetechnik: Gasetagenheizung - GH, Hauszentralheizung (HZH/gas, HZH/öl, HZH/Fernwärme, HZH/Pellets), Wärmepumpe, Solar); ML - mechanische Lüftung, FL - Fensterlüftung, Haus-Dezentralheizung – HDH)

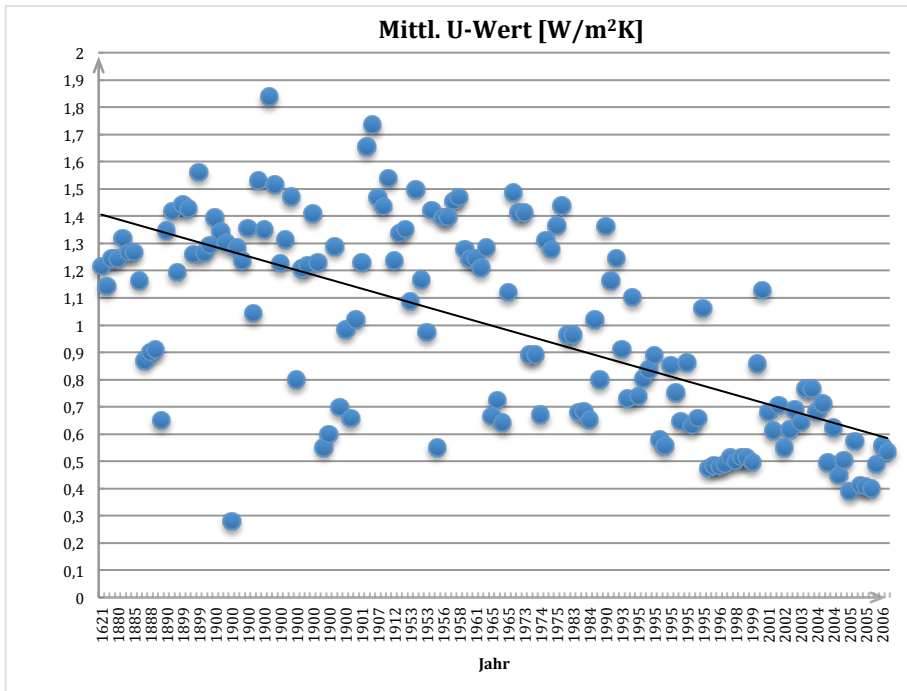


Abbildung 4: U-Werte in Relation zum Baualter, Die Trendlinie zeigt deutlich die gesetzlichen Bemühungen um einen besseren U-Wert in den letzten Jahrzehnten

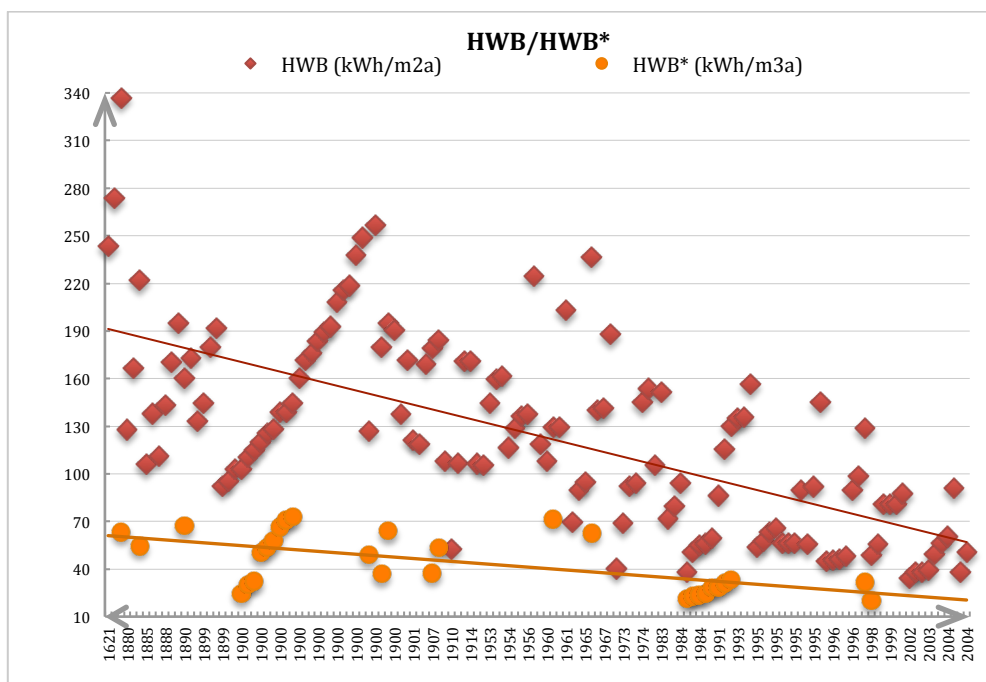


Abbildung 5: Von verschiedenen Erstellern errechnete Heizwärmebedarfszahlen von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden in Relation zum Baualter; Die Trendlinie zeigt einen langsam sinkenden HWB im Bestand der Datenbank.

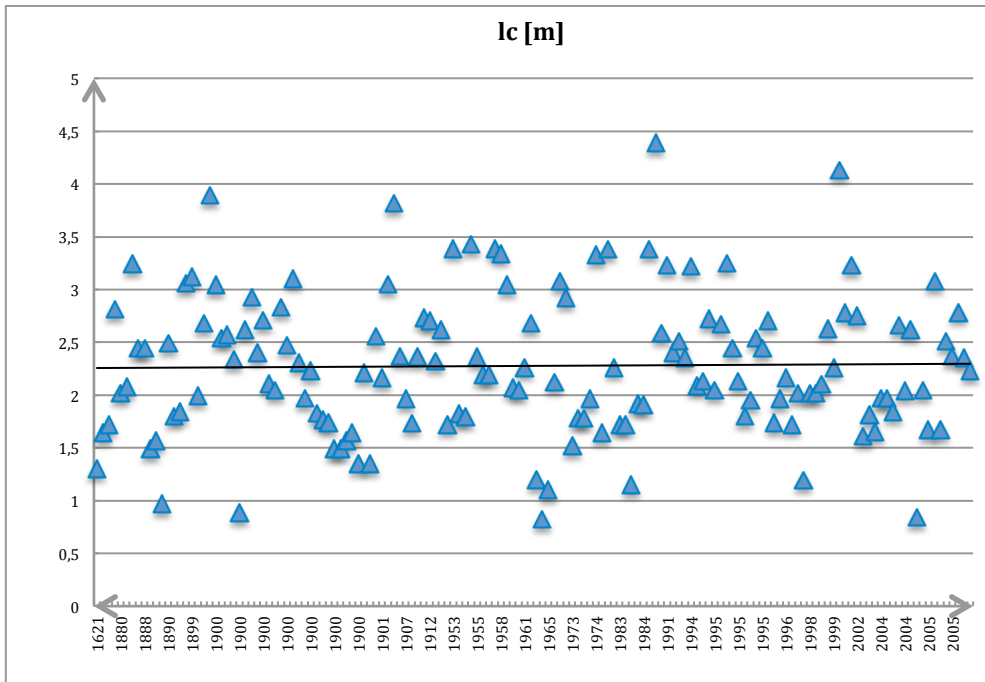


Abbildung 6: Charakteristische Länge in Relation zum Baualter; Die Kompaktheit ist im Bestand der Datenbank gleichmäßig verteilt ; es lässt sich daher kein Trend feststellen (z.B. hin zu kompakterer Bauweise erkennen)

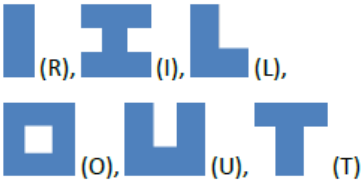
| Building properties | Plausible options |
|---------------------------------------|---|
| Building usage profile | <ul style="list-style-type: none"> - WE: Residential single-family house - WM: Residential multi-family house - B: Office building - HS: School - KP: Kindergarten |
| Construction year | {year of construction} |
| Building morphology/General Form |  (R), (I), (L), (O), (U), (T) |
| Urban situation: | <ul style="list-style-type: none"> - F: Freestanding structure - S: In a street front - E: In a corner location |
| Number of floors | {Integer} |
| Building height | {Height in metres} |
| Shading information | <ul style="list-style-type: none"> - Opposite building height and distance - Self-shading |
| Usage of each building floor (zones): | <ul style="list-style-type: none"> - W: Residential space - B: Office space - HS: Educational space - KP: Kindergarten - V: Retail - L: Restaurant - T: Technical room |
| Decorative façade | {Yes/No} |
| Orientation of the main façade(s) | {0-360 ° azimuth angle} |
| Roof shape | {Flat, Sloped, Mansard, ...} |
| Building systems | {name, description, and key performance data of existing HVAC systems} |
| Building address | {address} |
| Zoning plan (GIS data) | {information from GIS-systems, if available} |
| Preserved façade / Listed building | {Yes/No} |

Abbildung 7: Zusatzkategorien von Daten, welche in der Datenbank dokumentiert wurden (Auszug aus dem ECPPM-Paper)

1.3.4 Sample A für die Untersuchung der Auswirkung von Abweichungen bei den Eingabeparametern

Sample A umfasst 20 Bauwerke, für die in den vergangenen acht Jahren ein Energieausweis erstellt wurde, und dient in weiterer Folge zur generellen Untersuchung der Auswirkung von Eingabedatenabweichungen. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet möglichst unterschiedliche Projekte hinsichtlich Nutzung, Baujahr und Geometrie im Sample zu berücksichtigen, um möglichst breite Aussagen treffen zu können, siehe Tabelle 6. Die in der Spalte „HWB (RK)“ angeführten Werte stellen den auf das Referenzklima bezogenen Heizwärmebedarf in der zum Erstellungszeitpunkt (siehe Spalte „EAW“) gültigen Methodik. Das heißt zum Beispiel, dass der Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude vor 2015 auf das konditionierte Brutto-Volumen und nicht auf die Brutto-Grundfläche bezogen ist. Die in dieser Tabelle angeführten Werte sind jene, die von unterschiedlichen Erstellern ermittelt wurden und stellen die Ausgangsbasis für die weiteren Untersuchungen dar. Das heißt es lagen für diese Gebäude Energieausweise von professionellen Erstellern aus der Praxis vor.

Tabelle 6: Sample A

| Projekt- nummer | Zonierung | Erbaut | Fläche | Vol. | Ver- glasung | EAW | HWB (RK) | l_c | U_m |
|--------------------|------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-----------------|------|------------------------|-------|----------------------|
| | | | [m ²] | [m ³] | [%] | | [kWh/m ² a] | [m] | [W/m ² K] |
| Projekt_ 1MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 1983 | 1.240 | 3.719 | 6,81 | 2008 | 111,83 | 1,72 | 0,78 |
| Projekt_ 2MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 1900 | 694 | 2.563 | 7,74 | 2008 | 176,27 | 2,34 | 1,30 |
| Projekt_ 3MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 1973 | 998 | 3.094 | 6,99 | 2008 | 129,53 | 1,78 | 0,89 |
| Projekt_ 4MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 1907 | 820 | 3.056 | 12,30 | 2015 | 210,67 | 2,33 | 1,56 |
| Projekt_ 5MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | vor 1900 | 1.602 | 5.816 | 10,36 | 2008 | 119,70 | 3,10 | 1,23 |
| Projekt_ 6MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 1914 | 1.165 | 4.417 | 12,12 | 2015 | 195,52 | 2,31 | 1,43 |
| Projekt_ 7MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 1900 | 1.118 | 3.813 | 11,02 | 2008 | 139,11 | 2,62 | 1,28 |
| Projekt_ 8MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 2003 | 389 | 1.199 | 7,08 | 2008 | 99,83 | 1,61 | 0,62 |
| Projekt_ 9MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 2003 | 1.121 | 3.205 | 10,27 | 2008 | 91,15 | 1,81 | 0,69 |
| Projekt_ 10MFH | Mehrfamilien häuser (MFH) | 1912 | 2.624 | 9.550 | 10,63 | 2008 | 137,40 | 2,70 | 1,24 |
| Projekt_ 11Büro | Bürogebäude (Büro) | 1900 | 109 | 369 | 0,95 | 2008 | 96,35 | 0,88 | 0,30 |
| Projekt_ 12Büro | Bürogebäude (Büro) | 1907 | 320 | 1.338 | 6,89 | 2015 | 271,22 | 1,93 | 1,43 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------------|--------|--------|-------|------|--------|------|------|
| Projekt_ 13Gast. | Verkaufsstätten | vor 1900 | 205 | 846 | 3,43 | 2008 | 201,21 | 2,31 | 1,31 |
| Projekt_ 14Kind. | Kindergarten und Pflichtschulen (Kind.) | 1975 | 218 | 850 | 11,01 | 2008 | 236,80 | 1,64 | 1,28 |
| Projekt_ 15Kind. | Kindergarten und Pflichtschulen (Kind.) | 2018 | 9.314 | 50.063 | 12,95 | 2015 | 35,41 | 2,84 | 0,30 |
| Projekt_ 16Hsch. | Höhere Schulen und Hochschulen (Hsch.) | 1995 | 692 | 2.049 | 22,79 | 2008 | 85,31 | 2,05 | 0,90 |
| Projekt_ 17Hsch. | Höhere Schulen und Hochschulen (Hsch.) | 2017 | 14.911 | 67.246 | 18,42 | 2012 | 16,90 | 3,49 | 0,40 |
| Projekt_ 18Hsch. | Höhere Schulen und Hochschulen (Hsch.) | 2018 | 2.424 | 10.980 | 24,68 | 2015 | 41,77 | 1,94 | 0,33 |
| Projekt_ 19EFH | Einfamilienhäuser (EFH) | 1965 | 67 | 208 | 5,43 | 2008 | 224,45 | 0,82 | 0,72 |
| Projekt_ 20EFH | Einfamilienhäuser (EFH) | vor 1900 | 112 | 388 | 4,13 | 2012 | 144,47 | 1,35 | 0,66 |

1.3.5 Sample B für die Untersuchung der Relevanz von Eingabefeldern

Sample B umfasst 16 Bauwerke und dient zur Untersuchung der Relevanz von Abweichungen bei den Eingabeparametern, siehe Tabelle 7. Es kann klar gesehen werden, dass die Objekte große Unterschiede hinsichtlich Baujahr, Urbaner Einbettung, Morphologie und Nutzung aufweisen. Das Sample B wurde zusammengestellt um typische Abweichungen bei der Eingabe von Energieausweisen festzustellen, also weniger um die Auswirkung von Abweichungen, als um deren Relevanz. Für diese Objekte wurden daher die vollständige Dokumentation, die an sich für jedes Projekt der Gebäudedatenbank vorliegt, neu erstellt. Dabei musste auch darauf geachtet werden, dass die Objekte geometrisch nicht zu komplex sind, um die in 2.2 beschriebene Studie durchführen zu können.

Tabelle 7: Sample B (Auszug aus dem ECPPM-Paper; Abkürzungen betreffend Usage: V...Verkauf, W...Wohnen, L...Gastronomie, B...Büro, HS...Schulen, T...Technikräumlichkeiten; Abkürzungen betreffend Urban Situation/urbaner Einbettung: F... Freistehend, S... in einer Straßenfront, E... in einer Ecklage; Abkürzungen betreffend Morphologie beschreiben die Grundform des Bauwerks, R...rechteckig, I...I-Förmig, L...L-Förmig, O...ringförmig, U...U- U-Förmig, T...T-förmig

| Projektnummer | Baujahr | Nutzung | Lage | Morphologie | Orientierung |
|---------------|---------|------------|------|-------------|--------------|
| 1 | 1828 | V, W | E | O | ONO-NNW |
| 2 | 1889 | V, L, W | S | T | N |
| 3 | 1896 | W | S | L | WSW |
| 4 | 1914 | B, W | E | U | SSW |
| 5 | 2005 | HS | S | U | NW |
| 6 | 1953 | W | S | R | ONO |
| 7 | 1912 | V, W | S | I | NNW |
| 8 | 1973 | B | S | I | NNW |
| 9 | 1946 | L, V, W | E | L | W |
| 10 | 1953 | V, B, W | F | R | SW |
| 11 | 1870 | L, V, W | S | T | SW |
| 12 | 1960 | KP, W | S | R | NW |
| 13 | 1820 | L, V, T, W | E | U | NNW |
| 14 | 1996 | W | S | I | WNW |
| 15 | 1992 | W | S | T | S |
| 16 | 1990 | W, V, W | S | L | N |

Die Dokumentationen der Bauwerke wurden im Detail auf Vollständigkeit geprüft. Die Bauwerke wurden besucht bzw. begangen und photographisch dokumentiert, sowie die Plan-Akte bei den jeweiligen Bauämtern bzw. der Wiener Baupolizei eingesehen und ausgehoben. Bei den Besuchen wurde darüber hinaus angesehen, ob es nicht-dokumentierte Änderungen oder Umbauten gegeben hat (z.B. eine nicht bewilligungspflichtige thermische Sanierung, ein nicht dokumentierter Umbau, oder ein Fenstertausch). Außerdem wurde der urbane Kontext (Nachbargebäude, Verschattungen, etc.) erhoben.

1.3.6 Auswirkung von Abweichungen auf den Indikator Heizwärmebedarf (HWB)

Um die Auswirkung fehlerhafter Eingabedaten zu untersuchen wurden sämtliche Gebäude des Samples A in definierten Abweichungsschritten innerhalb eines „sinnvollen“ Bereichs so oft neu berechnet, bis sich eine Tendenz der Auswirkung der Abweichungen ablesen ließ. So konnte festgestellt werden mit welcher „Intensität“ ein Parameter, bzw. seine Abweichung in das Ergebnis einfließen. Auf diese Art konnten auch Aussagen über den unterschiedlichen Einfluss von Parametern in Abhängigkeit von z.B. Geometrie, oder Baujahr getroffen werden.

1.3.7 Relevanz bzw. Häufigkeit von Eingabefehlern und deren Auswirkungen auf den Indikator Heizwärmebedarf (HWB)

Um die Relevanz von Abweichungen, im Sinne der Häufigkeit von tatsächlich gemachten Fehlern, zu untersuchen, wurden zwei Teams gebildet, die vollkommen unabhängig voneinander die Energieausweise für die Bauwerke des Samples B berechneten. Diese Teams hatten die gleichen Ausgangsdaten, jedoch berechneten sie die KPIs (Key Performance Indikatoren) absolut unabhängig voneinander. Die Idee dahinter war, Abweichungen in den Annahmen nachher zu analysieren bzw. zu diskutieren und diese dann den Unsicherheitskategorien zuzuweisen bzw. die Quelle der Abweichung identifizieren zu können.

1.3.8 Sensitivitätsanalyse

Für die Auswertung wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei wurde in ersten Untersuchungen die Elastizitätsformel nach Hofstrand¹³ (siehe Formel 3) verwendet, um einen einheitenfreien Indikator darüber zu haben, welche prozentuelle Abänderung einer unabhängigen Variablen welche prozentuelle Veränderung einer abhängigen Variable nach sich zieht. Unabhängige Variablen können alle Energieausweis-Eingangsdaten sein; Abhängige Variablen verschiedene Key Performance Indikatoren. In weiterer Folge wurde die einfachere und für die Zwecke dieses Vorhabens geeignetere Formel 4 verwendet.

Formel 3:

$$\eta = ((Q_1 - Q_2) / (Q_1 + Q_2)) / ((P_1 - P_2) / (P_1 + P_2))$$

Formel 4:

$$\eta = ((Q_1 - Q_2) / Q_1) / ((P_1 - P_2) / P_1)$$

Es bedeutet:

Q_1 nachgefragte Menge 1, entspricht einer beliebigen Variable in Abhängigkeit von P_1

Q_2 nachgefragte Menge 2, entspricht einer beliebigen Variable in Abhängigkeit von P_2

P_1 Preis 1, entspricht einer beliebigen unabhängigen Variable (Eingabeparameter)

P_2 Preis 2, entspricht einer beliebigen unabhängigen abgeänderten Variable (Eingabeparameter)

Diese ursprünglich in den Wirtschaftswissenschaften entwickelte Formel wurde auf die Auswertung der Berechnungen übertragen, um eine Aussage über die Relevanz von „Fehlern“ bzw. abweichenden Eingabedaten treffen zu können.

Wenn das Ergebnis der Formel größer 1 ist, dann gilt der Zusammenhang als elastisch: die abhängige Variable wächst schneller als der Eingabeparameter. Ist das Ergebnis der Formel kleiner 1, dann gilt die Änderung als unelastisch, ist das Ergebnis gleich 1, dann ist der Zusammenhang gleichförmig.¹⁴

2 Ergebnisse

2.1 Fallstudien zum Sample A

In dieser Untersuchung wurde die Veränderung des jeweils vorliegenden Referenzklima-bezogenen, spezifischen Heizwärmebedarfs durch Abweichungen bei den Eingabeparametern untersucht.

2.1.1 Abweichung bei der Geometrieingabe

Die geometrischen Eingabedaten beeinflussen den berechneten Heizwärmebedarf sowohl über die monatlichen Wärmeverluste $Q_{i,j}$ als auch über die monatlichen Wärmegewinne $Q_{g,j}$, sofern es sich um transparente Bauteile handelt, siehe Formel 2.

2.1.1.1 Abweichungen bei der Eingabe Außenwand

Abweichungen bei der Ermittlung des richtigen Ausmaßes der Hüllfläche gehen immer mit einer Änderung des A/V-Verhältnisses einher. Sie wirken sich mehr oder minder linear auf den HWB (und auf die charakteristische Länge) aus. Wobei eine Reduktion von 10% etwas weniger als 10%, bei den untersuchten Beispielen zwischen 6 und 9% Verringerung des Heizwärmebedarfs bedeutet. Diese nicht überraschend triviale Beziehung ergibt sich aus der Wärmebilanzgleichung, in der die Verluste durch die Gebäudehülle aufaddiert werden. Die Stärke des Einflusses hängt vom Wärmedurchgangswiderstand des Bauteils und von seinem Flächenausmaß im Verhältnis zu den anderen Summanden der Wärmebilanzgleichung ab.

Der stärkste Effekt zeigte sich beim Projekt 5MFH, siehe Abbildung 8. In Abbildung 9 sieht man inwiefern dies auch Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse haben könnte.

In der parametrischen Analyse, bei der größere Bandbreiten anhand der Evaluierungsbeispiele untersucht wurden bestätigt sich der lineare Zusammenhang nur

bedingt. Hier sieht man, dass sich durch die Verschiebung des Glasanteils, die sich durch das Gleichbleiben der Glasflächen im Verhältnis zur Veränderung der opaken Flächen ergibt, sowie durch die veränderte Kompaktheit, die Verbesserungen des Heizwärmebedarfs mit zunehmenden Anteil der opaken Flächen „verlangsamen“. Umgekehrt wird bei abnehmendem Anteil der opaken Flächen die Verbesserung des (spezifischen) Heizwärmebedarfs immer mehr verstärkt. Deutlich wird auch, dass bei besser gedämmten Gebäude der Zusammenhang weniger stark ausgeprägt ist, siehe Abbildung 10. Während sich bei den untersuchten gründerzeitlichen Wohnhäusern, wie zB 5MFH die Verringerung der Außenwandfläche im Verhältnis 5:4 auf den Heizwärmebedarf auswirkte, ist dies bei den untersuchten neueren Gebäuden, vor allem aber bei den Evaluierungsbeispielen im Verhältnis 5:1 bis 5:2 der Fall.

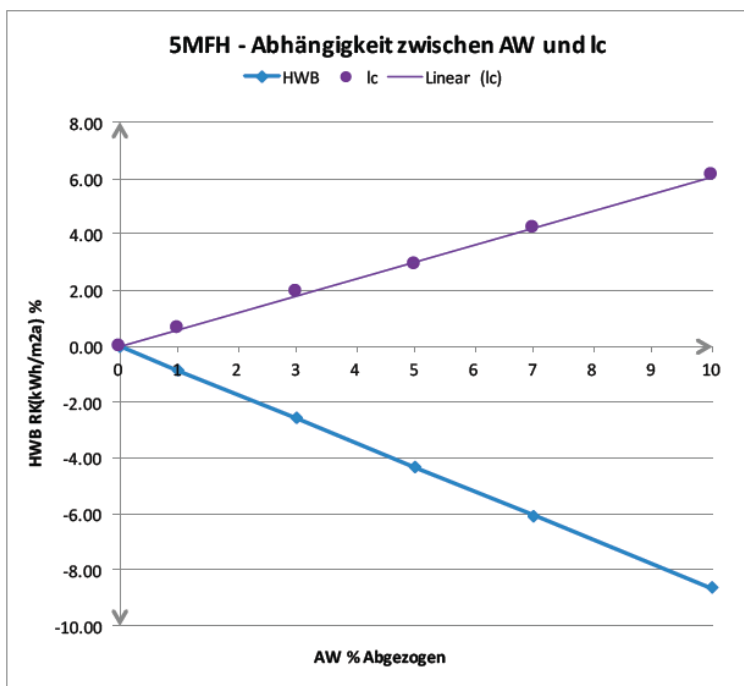


Abbildung 8: Verringerung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Flächen der Außenwand, zB durch Fehler in der Dokumentation. Die Verbesserung der Energiekennzahl geht mit einer Verbesserung der Kompaktheit einher.

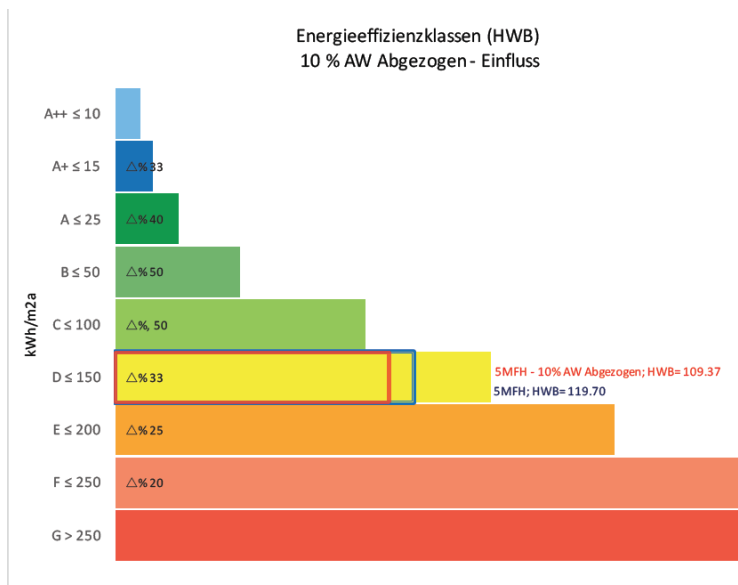


Abbildung 9: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 5MFH

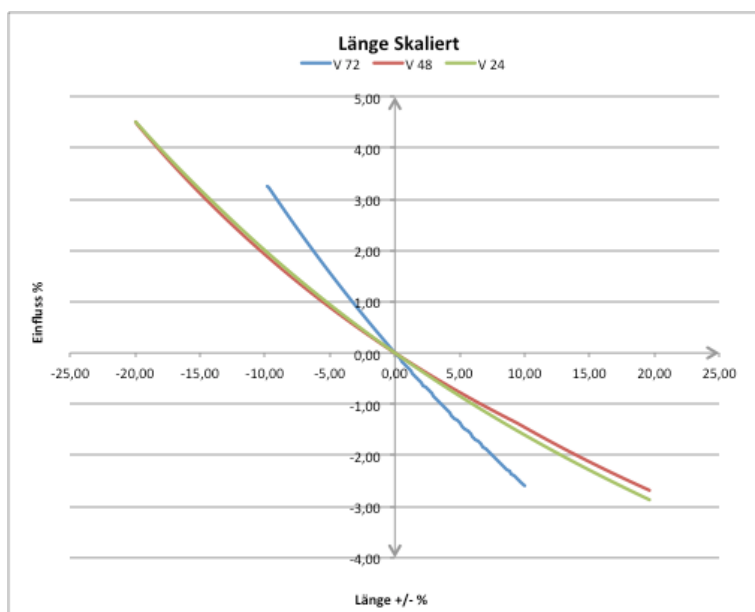


Abbildung 10: Verringerung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Flächen der Außenwand, Untersuchung am parametrischen Modell für Nutzungsprofil Einfamilienhaus für drei Evaluierungsprojekte. Die Fenstergrößen bleiben bei der Skalierung gleich.

2.1.1.2 Abweichungen bei der Eingabe der Außenfenster

Abweichungen beim Flächenausmaß der Außenfenster sind wesentlich komplexer. Hier gibt es nicht nur Unterschiede durch verschiedene Orientierungen der Fensterflächen, sondern auch bei der Berechnung der solaren Gewinne gab es im Zuge der Überarbeitungen der ÖNORM B 8110-6 Unterschiede. Die Abweichungen können sowohl zu einer Erhöhung als auch zu einer Verringerung des Heizwärmebedarfs führen. Auffällig ist, dass Gebäude nach 2000, bzw. mit einem mittleren U-Wert $< 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ besonders stark auf Änderungen reagieren, siehe Abbildung 11, wobei die „Ausreißer“ am jeweiligen Ende des Graphs das Nutzungsprofil „Höhere Schulen und Hochschulen“ aufweisen.

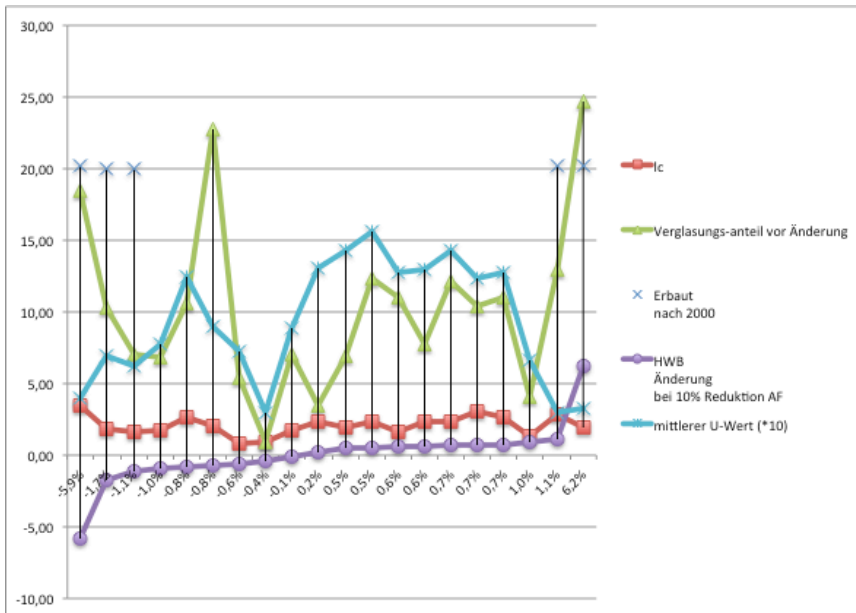


Abbildung 11: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Fensterflächen um 10% des Flächenausmaßes für jeweils alle Fenster, negative Zahlen bedeuten eine Verringerung, positive Zahlen eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs.

Ein Vergleich der bewusst vielfältig gewählten Beispiele des Samples A ist nur bedingt zielführend. Die größte Erhöhung des Heizwärmebedarfs zeigte sich beim Projekt 18HSch, siehe Abbildung 12. In Abbildung 13 sieht man inwiefern dies auch Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse haben könnte.

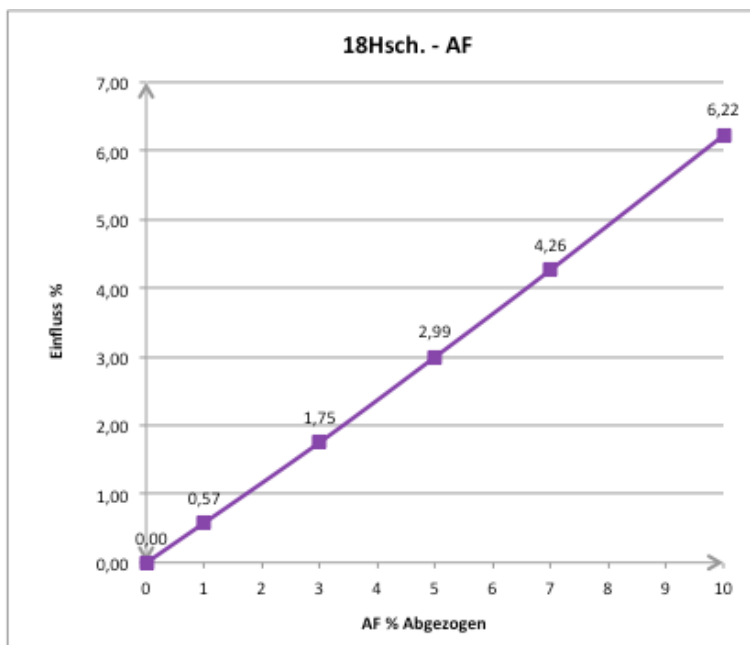


Abbildung 12: Erhöhung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Fensterflächen.

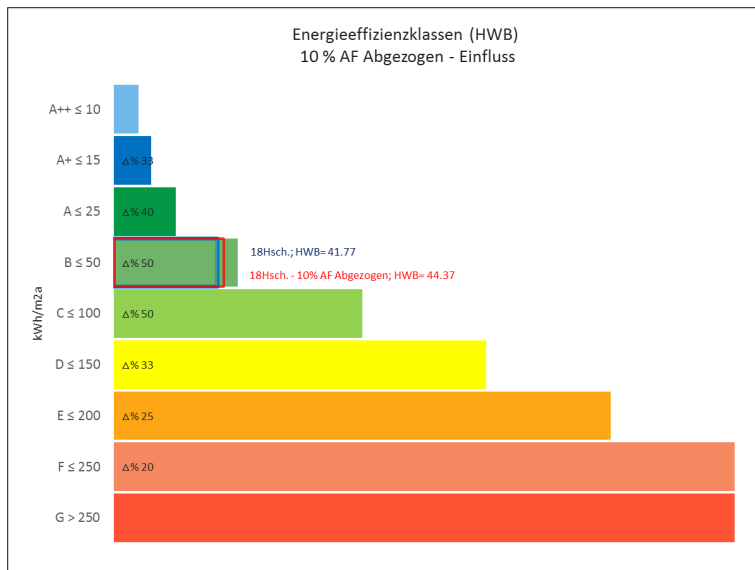


Abbildung 13: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 18HSch.

In der parametrischen Analyse, bei der größere Bandbreiten anhand der Evaluierungsbeispiele untersucht wurden zeigt sich bei den Beispielen mit weniger als 20% Verglasung ein Minimum des Heizwärmebedarfs bei Erhöhung der Verglasungsfläche, beim Beispiel mit 30% Verglasungsanteil ein Minimum bei Verringerung der Verglasungsfläche. Sowohl eine Verringerung als auch eine Erhöhung der Fensterflächen bewirken ab dem Minimum Verluste. Die Verglasungsanteile der Evaluierungsbeispiele von 10% (Beispiel V 24), 20% (Beispiel V 48) und 30% (Beispiel V 72) sind relativ nahe am Minimum, das nur ca. 0,33% weniger Heizwärmebedarf gegenüber der Ausgangssituation bedeutet. Untersucht wurde (je nachdem, ob es geometrisch möglich war) eine Erhöhung der Fensterflächen um bis zu 150%, sowie eine Reduktion auf bis zu -50%. Die Reduktionen erscheinen dabei größeren Einfluss zu haben, als die Erhöhungen des Glasanteils. Insgesamt sind die Auswirkungen mit unter 4,5% mehr Heizwärmebedarf gering, siehe Abbildung 14. Die Evaluierungsbeispiele haben einen mittleren U-Wert < 0,5 W/m²K.

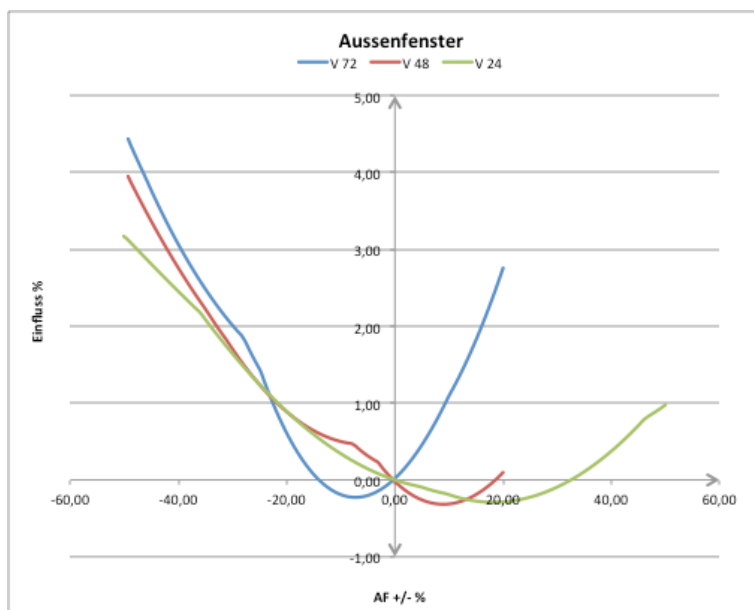


Abbildung 14: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Fensterflächen, Untersuchung am parametrischen Modell für Nutzungsprofil Einfamilienhaus für drei Evaluierungsprojekte.

2.1.1.3 Abweichungen bei der Eingabe der Außendecke

Abweichungen bei der Ermittlung des richtigen Ausmaßes der Hüllfläche gehen immer mit einer Änderung des A/V-Verhältnisses einher. Sie wirken sich mehr oder minder linear auf den HWB (und auf die charakteristische Länge) aus. Wobei eine Reduktion der Außendecke von 10% lediglich 3% Verringerung des Heizwärmebedarfs bedeutete. Das ist nicht überraschend, da die Stärke des Einflusses vom Wärmedurchgangswiderstand des Bauteils und von seinem Flächenausmaß im Verhältnis zu den anderen Summanden der Wärmebilanzgleichung abhängt. Bei den meisten der untersuchten Gebäude des Samples A hat die Außendecke einen geringeren Anteil an der Gebäudehülle als die Wandflächen.

Der stärkste Effekt zeigte sich beim Projekt 11BÜRO, siehe Abbildung 15. In Abbildung 16 sieht man inwiefern dies auch Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse haben könnte.

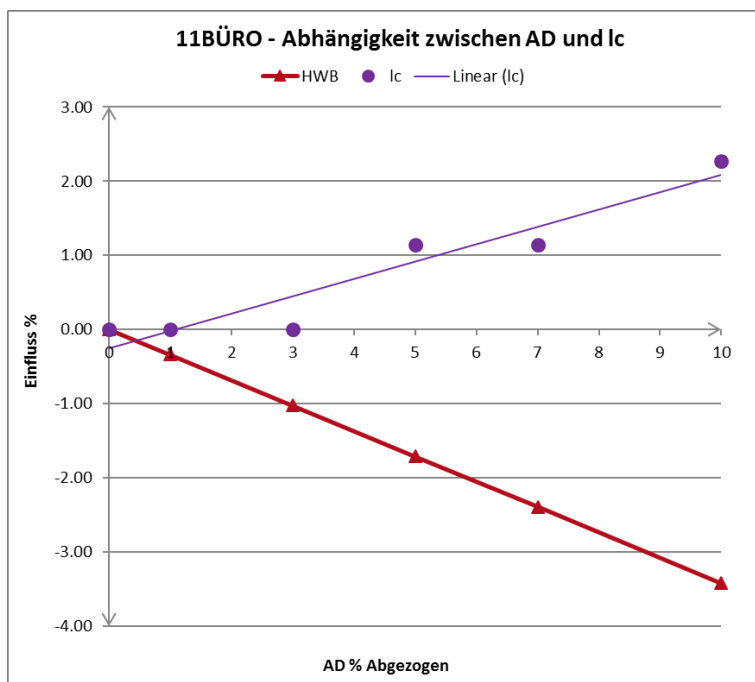


Abbildung 15: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Außendecke

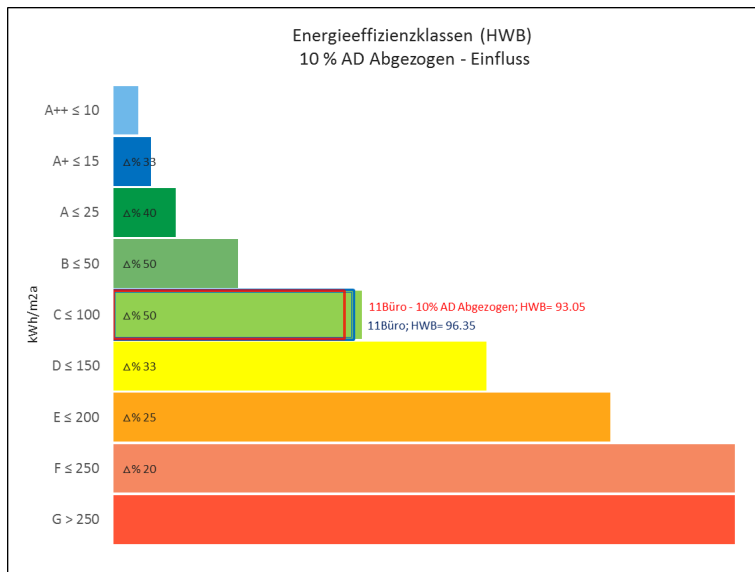


Abbildung 16: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 11BÜRO

2.1.1.4 Abweichungen bei der Eingabe von Decken über unbeheiztem und ungedämmtem Keller (DGK)

Eine Reduktion der DGK von 10% bedeutete für die Objekte des Samples A eine Verringerung des Heizwärmebedarfs von max. 4,0%. Dieser Einfluss ist grundsätzlich auf Grund der Temperaturkorrekturfaktoren der ÖNORM B 8110-6 (in allen Fassungen) noch geringer, der Faktor wird in der ÖNORM B 8110-6:2014, Tabelle 4 mit 70% festgelegt.

Der stärkste Effekt zeigte sich beim Projekt 13GESCH, siehe Abbildung 17. Da es sich bei diesem Projekt um eine Verkaufsstätte handelt, die im Erdgeschoß eines Wohnhauses liegt, beträgt der Anteil des Fußbodens an den wärmeabgebenden Bauteilen einen höheren Prozentsatz als bei allen anderen untersuchten Projekten, dennoch bleibt der Effekt einer Reduktion auf Grund der vorher erwähnten Faktoren gering. In Abbildung 18 sieht man inwiefern dies auch Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse haben könnte. Da der Ausgangsheizwärmebedarf genau an der Grenze zweier Klassen liegt, rutscht dieses Projekt durch Reduktion in eine andere Energieeffizienzklasse.

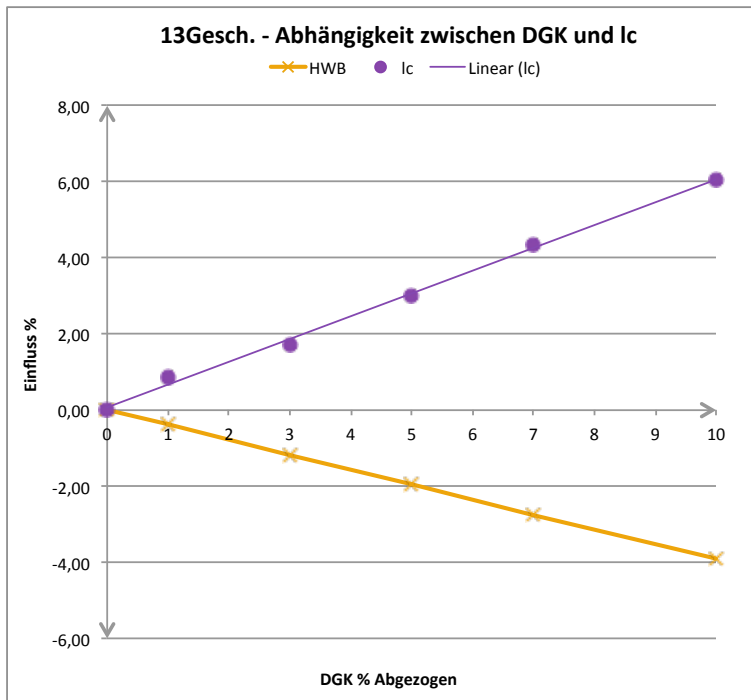


Abbildung 17: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der DGK

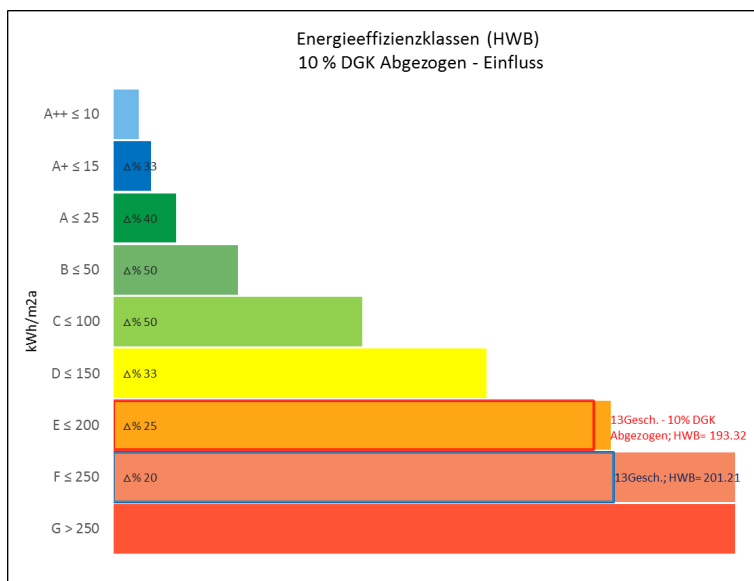


Abbildung 18: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 13GESCH

2.1.1.5 Abweichungen bei der Eingabe von Geometrie, „global“

In der parametrischen Analyse, bei der größere Bandbreiten anhand der Evaluierungsbeispiele untersucht wurden, wurde auch eine globale Abweichung der Hüllfläche untersucht. Für die Beispiele mit weniger als 20% Verglasung ist die Veränderung für den spezifischen Heizwärmebedarf fast belanglos. Beim Beispiel mit 30% Verglasungsanteil ist der Einfluss wesentlich größer, bei einer Erhöhung des Flächenausmaßes der Geometrie um 10% sinkt der Heizwärmebedarf um 2,2%, bei einer entsprechenden Reduktion steigt dieser auf über 4%. Die Kompaktheit wirkt sich auf Grund des höheren mittleren U-Werts (dies wiederum auf Grund größeren Verglasungsanteils)

stärker aus. Insgesamt sind die Auswirkungen mit max. 4% mehr Heizwärmebedarf gering, siehe Abbildung 19.

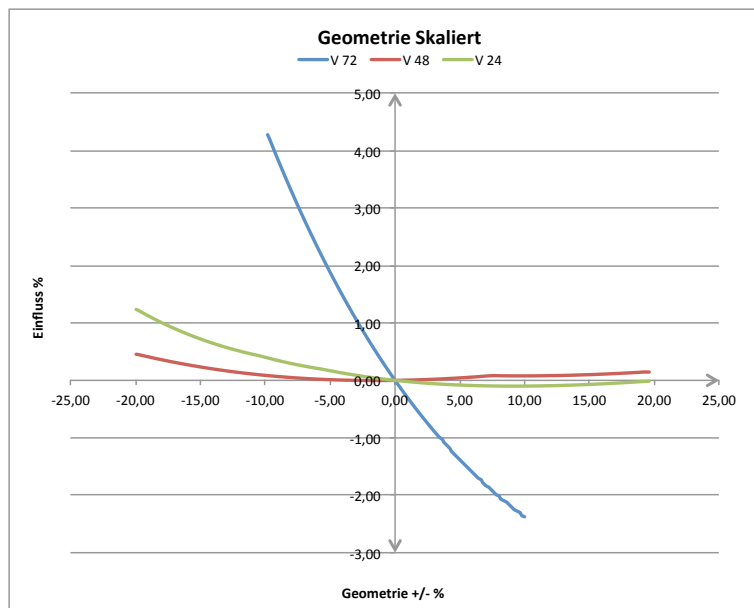


Abbildung 19: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der gesamten Hüllfläche, Untersuchung am parametrischen Modell für Nutzungsprofil Einfamilienhaus für drei Evaluierungsprojekte

2.1.1.6 Abweichungen bei der Eingabe der Verschattung

Die Berechnung des Einflusses der Verschattung durch vor transparente Elemente der Außenhülle vorragende Gebäudeteile oder durch benachbarte Gebäude oder durch das umgebende Gelände hat sich mit jeder der drei Überarbeitungen (siehe Tabelle 2) der ÖNORM B 8110-6 geändert. Insofern wird im folgenden zwischen den jeweiligen Methoden unterschieden. Es wurde dabei einerseits untersucht, wie sich die Energiekennzahl darstellen würde, wenn die Verschattung entweder vereinfacht eingegeben würde (dabei kommt es zu einem pauschalen Abschlag) oder detailliert für jedes Fenster ermittelt wird. Die vereinfachte Berechnung ist dabei nur bei Einfamilien-, Zweifamilien- und Reihenhäusern zulässig. Im Rahmen der Untersuchung von „Fehlern“ schien es aber geboten, immer auch die Variante „vereinfachte Berechnung der Verschattung zu berücksichtigen. Abweichungen bei der Eingabe wurden jeweils für alle Fenster gleichermaßen angesetzt; Fehler sind hier wohl von geringerer Bedeutung als dargestellt, weil sie ja nur vereinzelt vorkommen sollten, wobei gerade bei den eher aufwändig zu ermittelnden Verschattungswinkel auch von systematisch sich durchziehenden Fehlern ausgegangen werden kann. Generell ist festzustellen, dass sich vor allem für jüngere, besser isolierte Gebäude ein beträchtliches Fehlerpotential auftut.

2.1.1.6.1 Abweichungen bei der Eingabe der Verschattung Vereinfacht ON B 8110-6:2007-08-01

Abweichungen bei der horizontalen Verschattung wirken sich deutlich stärker aus, als Abweichungen bei seitlicher Verschattung oder Überhang, siehe Abbildung 20.

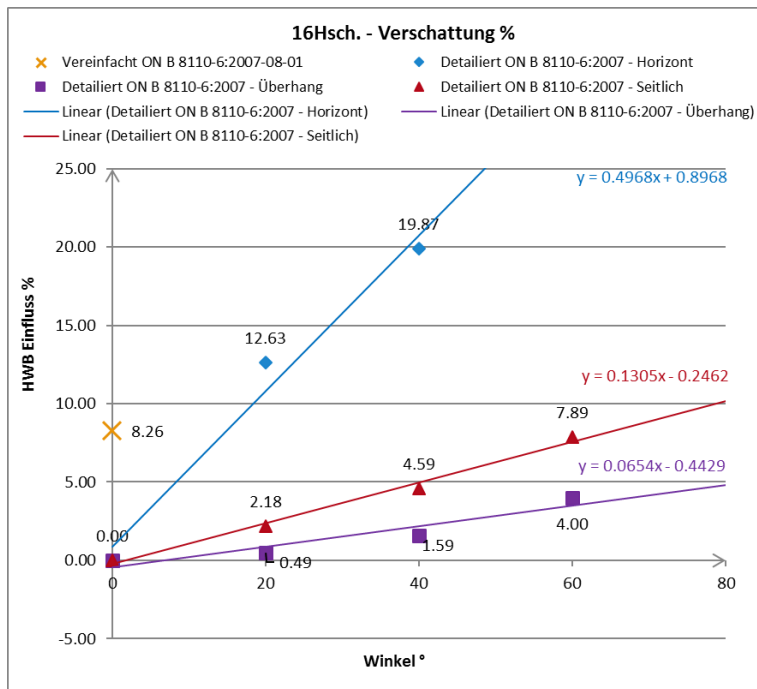


Abbildung 20: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 16Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2007

2.1.1.6.2 Abweichungen bei der Eingabe der Verschattung Vereinfacht ON B 8110-6:2010-01-01

Abweichungen bei den verschiedenen Verschattungsarten wirken sich annähernd gleich aus, siehe Abbildung 16.

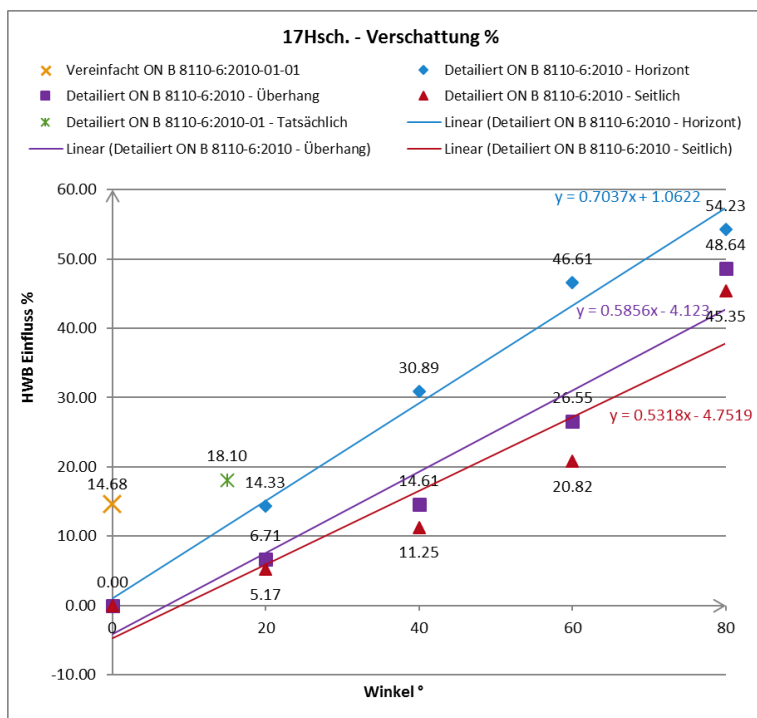


Abbildung 21: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 17Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2010

2.1.1.6.3 Abweichungen bei der Eingabe der Verschattung - Vereinfacht ON B 8110-6:2014-11-15

Abweichungen bei der horizontalen Verschattung wirken sich wieder etwas stärker aus, als Abweichungen bei seitlicher Verschattung oder Überhang, siehe Abbildung 22.

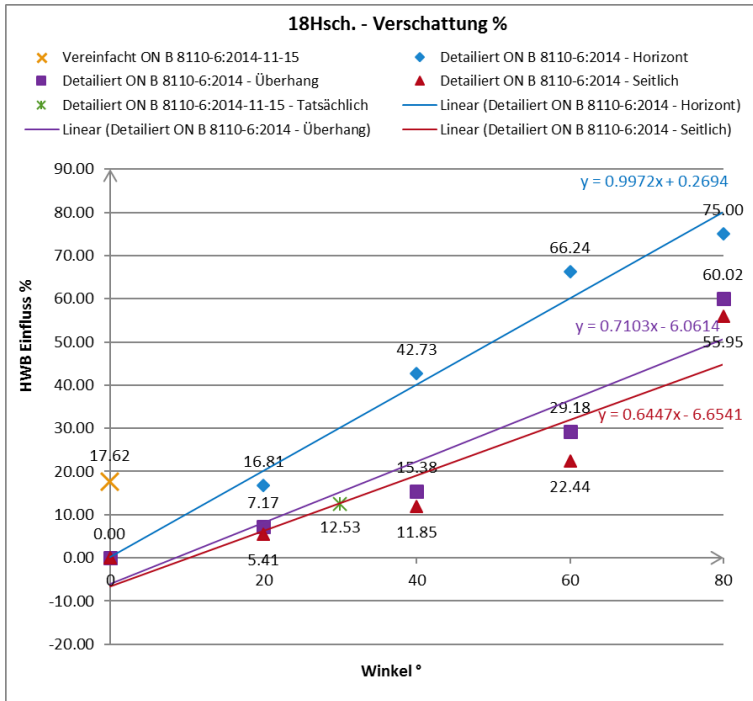


Abbildung 22: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 18Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2014

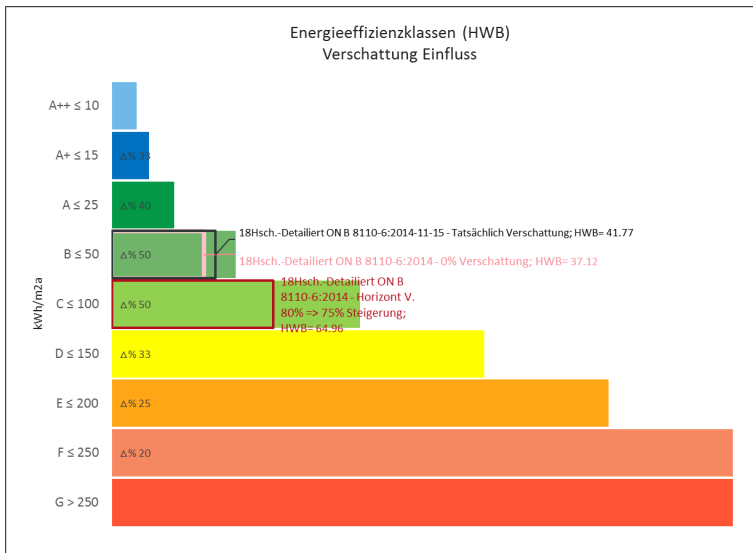


Abbildung 23: Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 18Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2014

Für besser gedämmte, großzügig verglaste Gebäude kann der Einfluss so stark werden, dass auch ein Wechsel der Energieeffizienzklasse folgt, siehe Abbildung 23.

2.1.1.7 Abweichungen bei der Eingabe des Volumens durch Abweichungen bei der Eingabe der Gebäude- oder Geschoßhöhe

Änderungen des Volumens durch eine falsch ermittelte Höhe, das könnte zum Beispiel im Bereich des Daches vorkommen, haben geringe Auswirkungen und der Einfluss verhält sich linear zur Abweichung, allerdings mit einem Faktor 1:15.

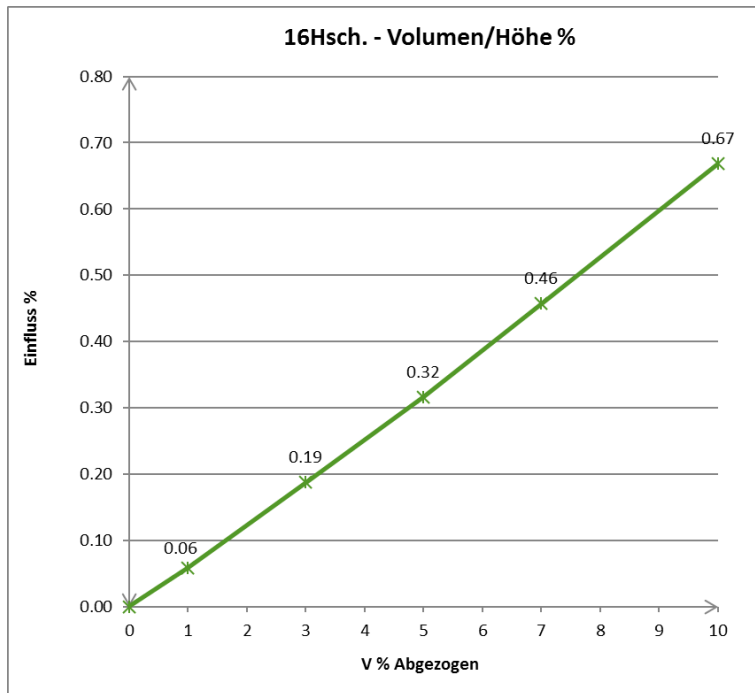


Abbildung 24: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung des Volumen durch Abweichungen bei der Gebäude- oder Geschoßhöhe

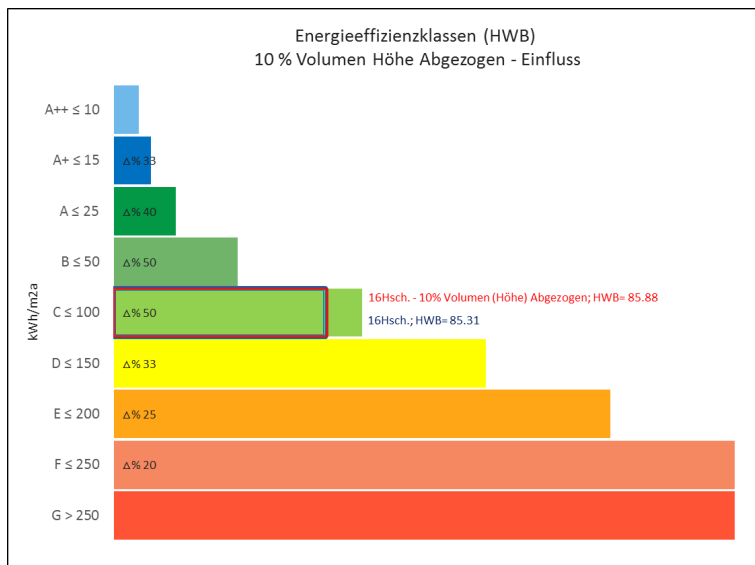


Abbildung 25: Mögliche Auswirkung einer Veränderung des Volumen durch Abweichungen bei der Gebäude- oder Geschoßhöhe auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 16Hsch. Der Unterschied ist kaum darstellbar.

2.1.1.8 Abweichungen bei der Eingabe des Volumens durch Abweichungen bei der Eingabe der Bruttogrundfläche

Ändert sich das Volumen durch eine Abweichung bei der Ermittlung der Bruttogrundfläche (BGF) so wirkt sich das überproportional stark auf den spezifischen (quadratmeterbezogenen) Heizwärmebedarf aus. Hier ändert sich eben mit der Kompaktheit auch der eigentliche Teiler um auf den spezifischen Wert zu kommen. Ein eigentlich banaler Eingabeparameter hat dadurch eine enorme Bedeutung für die Genauigkeit des ermittelten Heizwärmebedarfs.

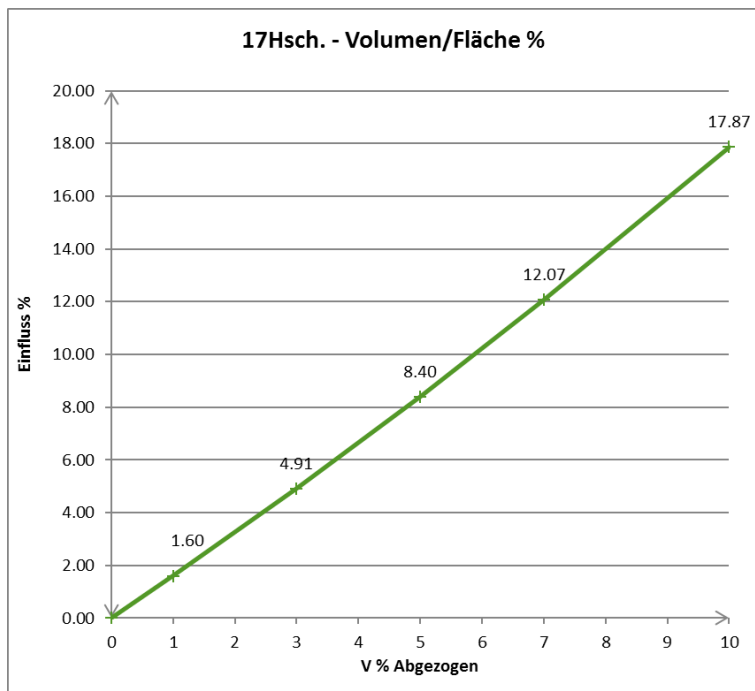


Abbildung 26: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung des Volumen durch Abweichungen bei der Bruttogrundfläche

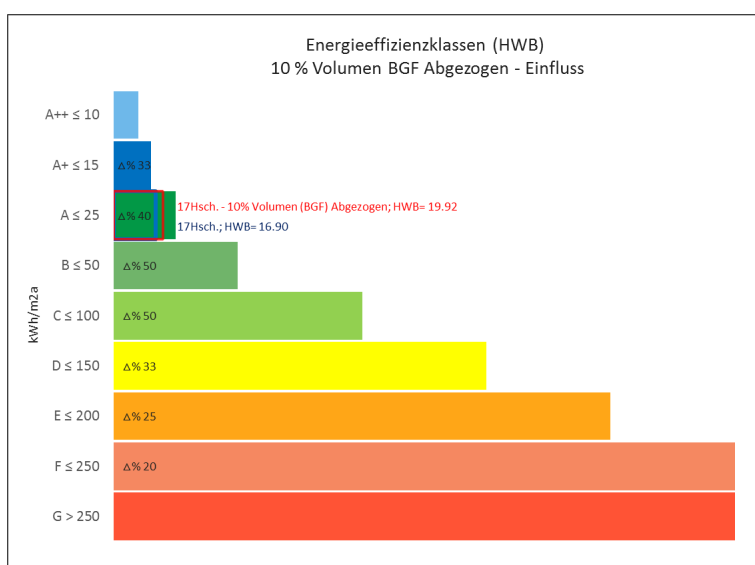


Abbildung 27: Mögliche Auswirkung einer Veränderung des Volumens durch Abweichungen bei der Bruttogrundfläche auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 16Hsch.

2.1.1.9 Exkurs: Gleiches Volumen auf Grund unterschiedlicher Abweichungen

In Abbildung 28 ist der Einfluss einer Verringerung des Volumens um 10% einmal auf Grund der Bruttogrundfläche und einmal auf Grund der Geschosshöhe dargestellt. Während der LEK-Wert und die Kompaktheit gleichbleiben, ändert sich der Heizwärmebedarf im Falle der Änderung der Bruttogrundfläche dramatisch, wie bereits in vorherigen Punkt 2.1.1.8 erörtert. Betrachtet man ein Gebäude ganzheitlich, also auch bezüglich des verfügbaren Volumens, des Potentials zur Belichtung und des Potentials für etwaige Pufferräume, so ist das Konzept des spezifischen Heizwärmebedarfs diesbezüglich kritisch zu sehen. Ein Gebäude könnte auf diese Weise „verbessert“ werden, indem doppel- oder mehrgeschoßige Lufträume oder Atrien verschlossen werden, Zwischendecken eingezogen werden, oder im Falle eines Neubaus möglichst niedrige Geschosshöhen errichtet werden.

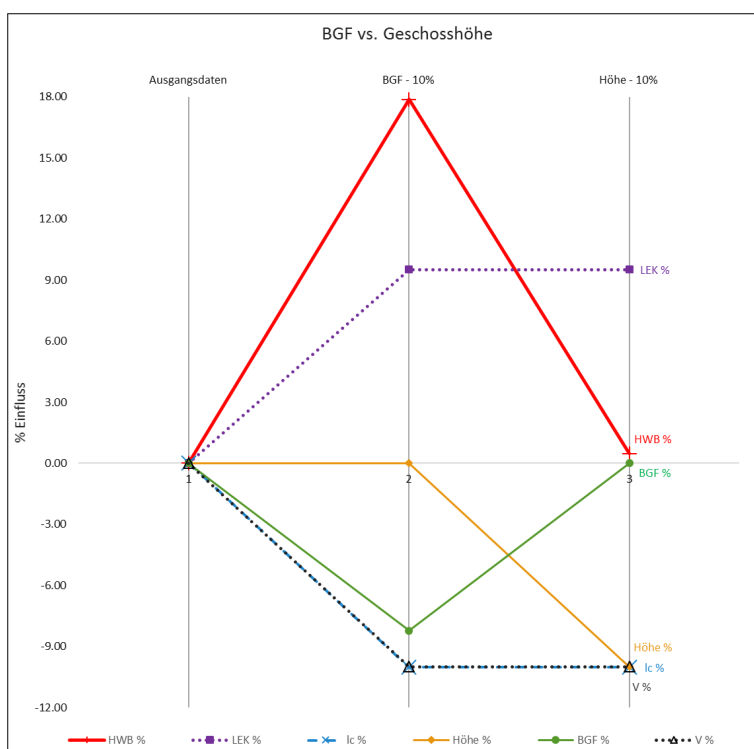


Abbildung 28: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Volumen

2.1.2 Abweichungen bei der Eingabe physikalischer Parameter

Die physikalischen Eingabedaten beeinflussen den berechneten Heizwärmebedarf sowohl über die monatlichen Wärmeverluste $Q_{l,j}$ als auch über die monatlichen Wärmegewinne $Q_{g,j}$, insofern dabei die Speicherefähigkeit des Gebäudes beschrieben wird, siehe Formel 2.

2.1.2.1 Abweichungen bei der Eingabe der Bauweise

Abweichungen bei der Berücksichtigung der Bauweise beeinflussen die möglichen Wärmegewinne $Q_{g,j}$ über die wirksame Wärmespeicherkapazität C , siehe Formel 5. Diese wird in den in Österreich erhältlichen Berechnungsprogrammen, siehe Tabelle 3: EDV-Programme für die Energieausweisberechnung in Österreich, üblicherweise entsprechend

dem vereinfachten Ansatz gemäß ÖNORM B 8110-6 berechnet. Die wirksame Wärmespeicherkapazität beeinflusst über die Gebäudezeitkonstante τ den Ausnutzungsgrad $\eta_{h,j}$ der monatlichen Wärmegewinne.

Formel 5:

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

Es bedeutet:

C wirksame Wärmespeicherkapazität, in Wh/K

V konditioniertes Brutto-Volumen, in m^3

Für f_{BW} sind normativ die Werte der Tabelle 8 einzusetzen.

Tabelle 8: Einteilung der Bauweisen gemäß ÖNORM B 8110-6:2014

| Zeile | Bauweise | f_{BW} | Einteilung |
|-------|-------------|-----------------|---|
| | | [Wh/(m^3K)] | |
| 1 | leicht | 10 | Gebäude in Holzbauart ohne massive Innenbauteile |
| 2 | mittel | 20 | Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden |
| 3 | schwer | 30 | Gebäude mit großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängte Decken |
| 4 | sehr schwer | 60 | Gebäude mit sehr massiven Außen- und Innenbauteilen (Altbaubestand) |

Die Gebäudezeitkonstante errechnet sich in Abhängigkeit der wirksamen Wärmespeicherkapazität einerseits und den Verlusten durch Lüftung und Transmission andererseits, entsprechend Formel 6.

Formel 6:

$$\tau = C / (L_T + L_V)$$

Es bedeutet:

τ Gebäudezeitkonstante, in h

C wirksame Wärmespeicherkapazität, in Wh/K

L_T Transmissionsleitwert, in W/K

L_V Lüftungsleitwert, in W/K

Über das monatlich zu bestimmende Verhältnis γ_h von Wärmeverlusten zu Wärmegewinnen und einen numerischen Parameter a wird der monatliche Ausnutzungsgrad $\eta_{h,j}$ für Wärmeverluste bestimmt. Der numerischen Parameter a berechnet sich direkt aus der Gebäudezeitkonstante, lt. Formel 7.

Formel 7:

$$a = a_0 + \tau / \tau_0$$

Es bedeutet:

a_0 im Heizfall 1,0

τ_0 im Heizfall 16,0

Der monatliche Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne berechnet sich dann nach Formel 8.

Formel 8:

$$\eta_{h,j} = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{(a+1)})$$

wenn $\neq 1$, sonst:

$$\eta_{h,j} = a / (1 + a)$$

Es bedeutet:

$\eta_{h,j}$ Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne im Heizfall im jeweiligen Monat

τ Gebäudezeitkonstante, in h

γ Verhältnis Wärmegewinne zu Wärmeverlusten: $\gamma = Q_{g,j} / Q_{l,j}$

$Q_{l,j}$ gesamte Wärmeverluste im jeweiligen Monat in kWh/M

$Q_{g,j}$ gesamte Wärmegewinne im jeweiligen Monat, in kWh/M

a numerischer Parameter für den Ausnutzungsgrad

Durch diese Formeln wird abgebildet, dass nicht nur leichtere, sondern auch schlechter gedämmte Gebäude solare oder interne Gewinne schlechter ausnützen können. Indirekt fließt auch die Kompaktheit ein. Da der einflussgebende Parameter nur in vier Stufen auftritt, wurde dieser Einfluss nicht am parametrischen Modell untersucht. Im Mittel zeigt sich ein durchaus signifikanter Einfluss der Bauweise auf den Heizwärmebedarf. Wesentlichen Einfluss hat dabei das Verhältnis von Wärmegewinnen zu Wärmeverlusten einerseits und das Verhältnis dieser Zahlen zum Gebäudevolumen andererseits. Der Einfluss auf den Ausnutzungsgrad ändert sich auf komplexe, intuitiv nicht vorhersehbare Weise. Einmal sind die größten Abweichungen bei Leichtbauweise zu erwarten, z.B. bei einem Gebäude mit geringen Wärmeverlusten und relativ großem Volumen, dann wieder sind die größten Abweichungen bei sehr schwerer Bauweise zu erwarten, was ein Energieausweisersteller aus f_{BW} vielleicht zu schnell schließen könnte. Generell ist zu sagen, dass die Bauweise für Gebäude mit großen Wärmeverlusten oder wenigen Wärmegewinnen von geringer Bedeutung ist, siehe Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31, Abbildung 32, Abbildung 33.

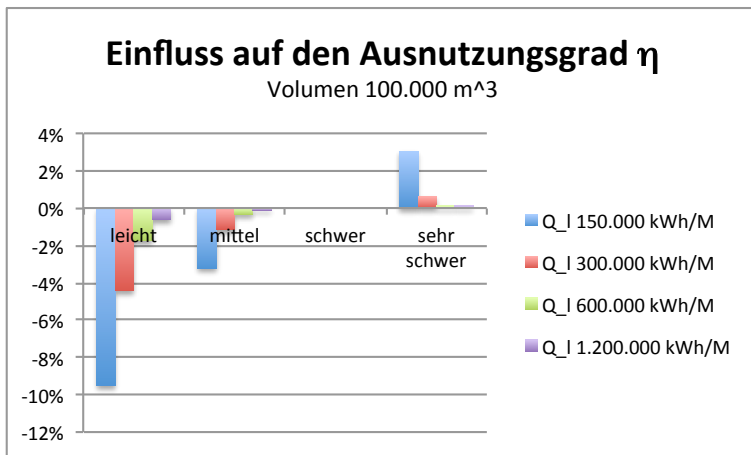


Abbildung 29: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und der Wärmeverluste

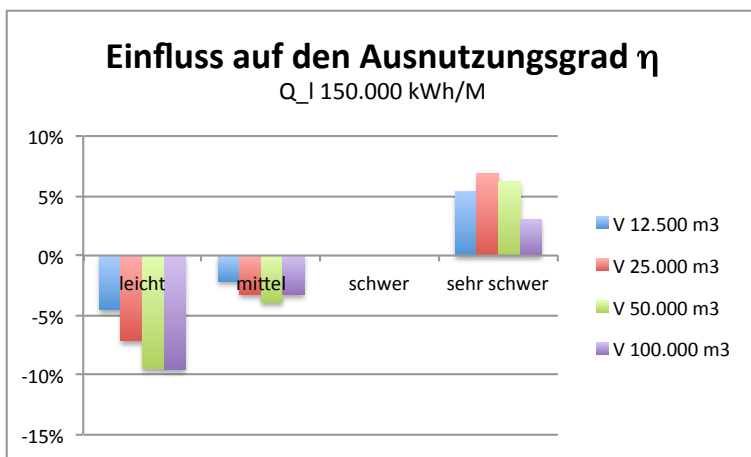


Abbildung 30: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei geringen Wärmeverlusten

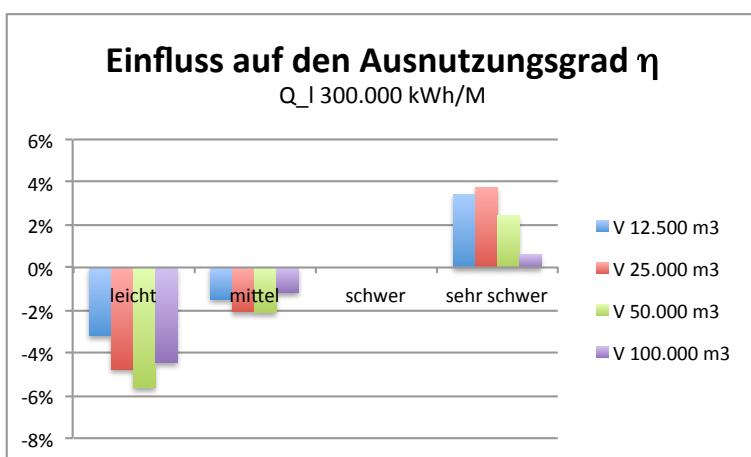


Abbildung 31: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei mittleren Wärmeverlusten

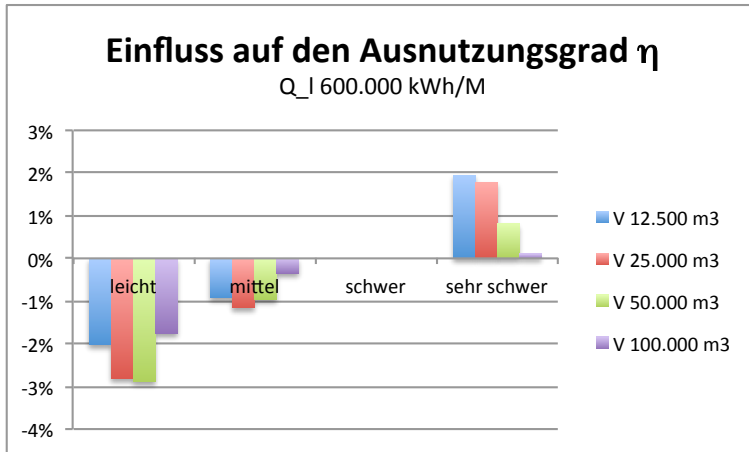


Abbildung 32: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei hohen Wärmeverlusten

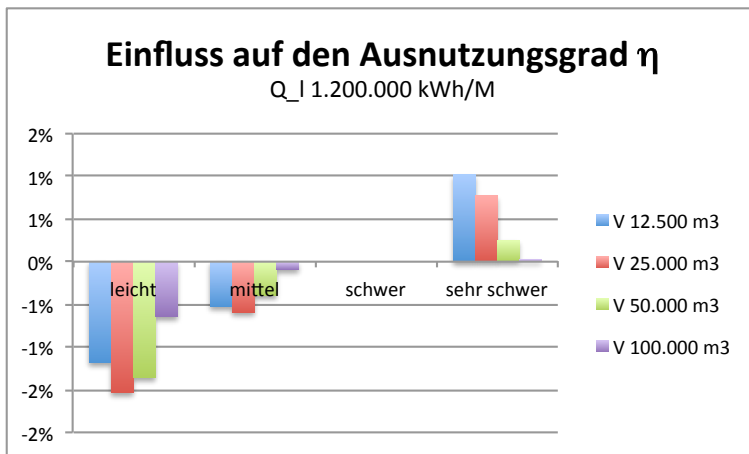


Abbildung 33: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei sehr hohen Wärmeverlusten

Im Sample A zeigt sich bei 17Hsch, siehe Abbildung 34 der größte Einfluss. Bei diesem Gebäude handelt es sich um ein sehr gut gedämmtes, sehr kompaktes Schulgebäude, mit signifikanten solaren Einträgen.

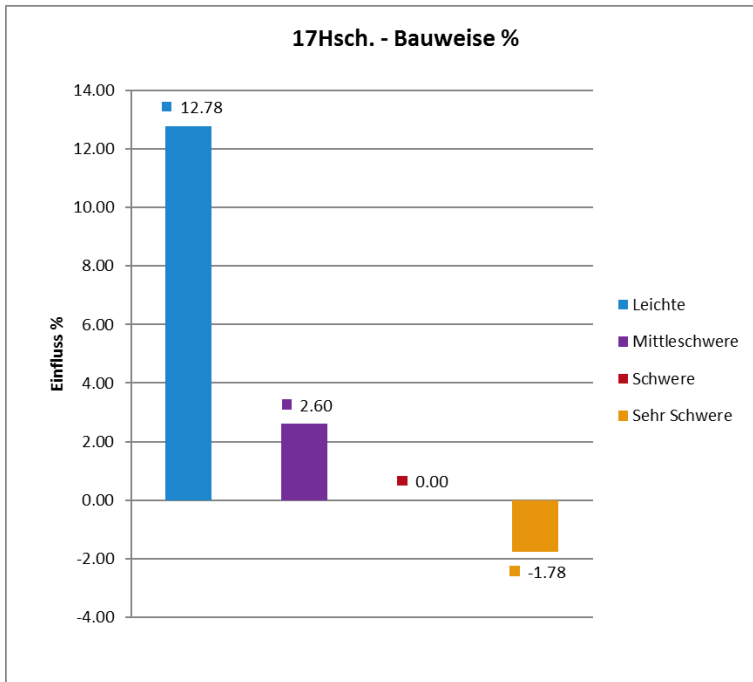


Abbildung 34: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Bauweise

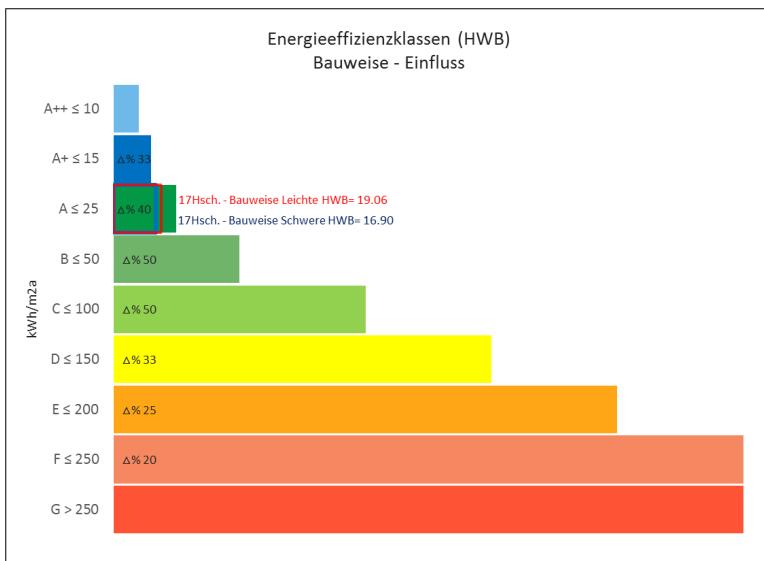


Abbildung 35: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 17Hsch bei Veränderung der Bauweise.

2.1.2.2 Abweichungen bei der Eingabe der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)

Abweichungen des U-Wertes sind von geringer Komplexität und Verringerungen oder Erhöhungen des U-Werts bilden sich fast im selben Ausmaß im Ergebnis ab, wie die Abweichung selbst. Der unwahrscheinliche Fall, dass sämtliche U-Werte um denselben Prozentsatz abweichen wurde anhand des parametrischen Modells untersucht und in Abbildung 36 dargestellt.

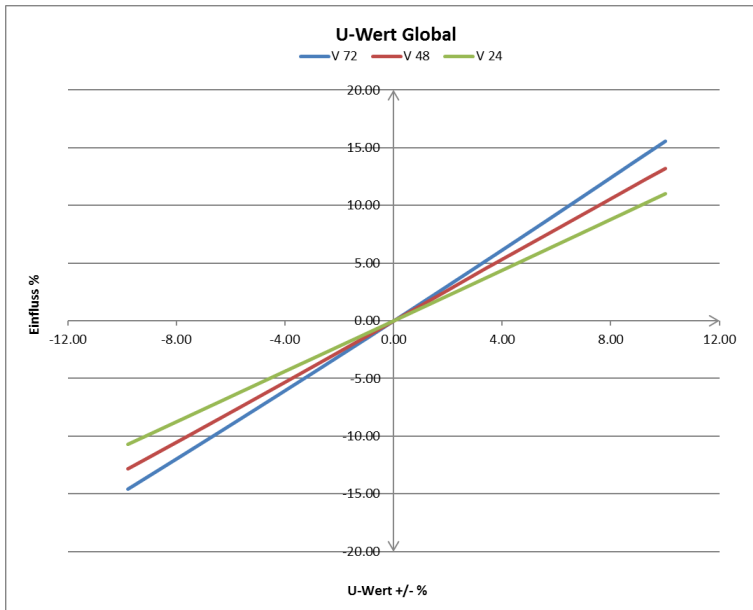


Abbildung 36: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der U-Wert Global, ermittelt am parametrischen Modell der Evaluierungsbeispiele.

Je nach geometrischer Verteilung und je nach qualitativer Ausgangslage wirken sich die einzelnen Hüllbauteile unterschiedlich stark aus. Eine differenziertere Betrachtung nach Bauteilen zeigt den dominierenden Einfluss der Außenwand bei einem typischen Gründerzeitmehrfamilienhaus.

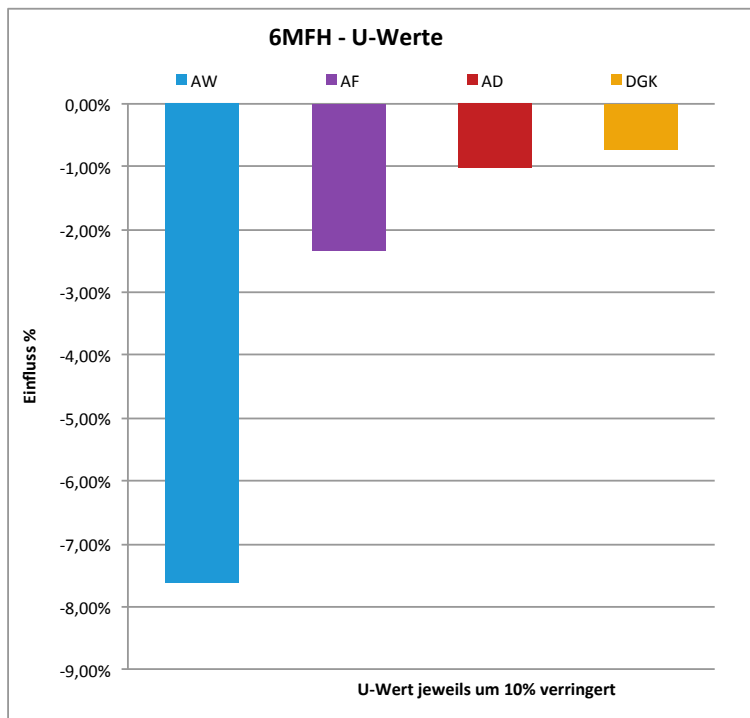


Abbildung 37: Einfluss des U-Werts verschiedener Bauteile am Beispiel von 6MFH, Baujahr 1914.

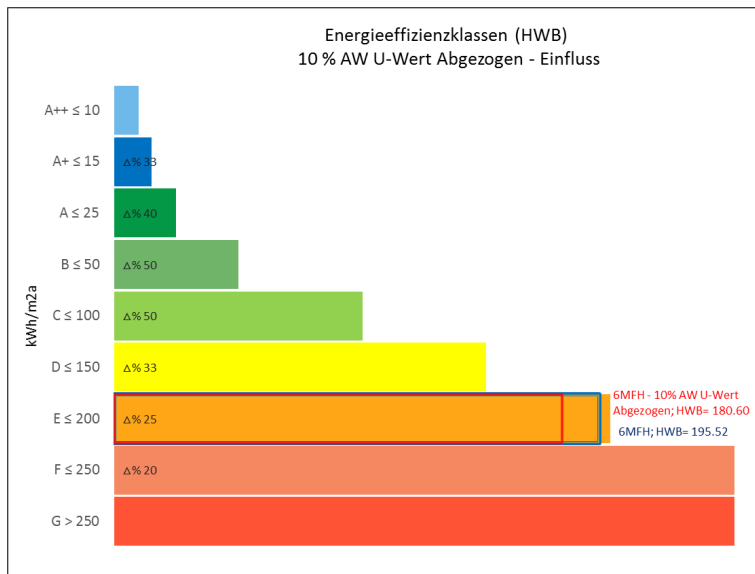


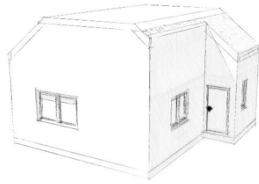
Abbildung 38: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 6MFH bei Abweichungen des U-Wertes der Außenwand.

2.1.2.3 Exkurs: Default-Werte für die Erfassung der Wärmedurchgangskoeffizienten

Die Default-Werte für die Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle sind im Leitfaden zur OIB-Richtlinie 6 aufgeführt und stellen eine Option dar, bei nicht Vorhandensein bzw. Nicht-Ermittelbarkeit von realen Bauteilaufbauten bei Bestandsobjekten dennoch eine thermische Hüllqualität ermitteln zu können. Da Österreich eine föderale Struktur besitzt ist eine Vielzahl von Gesetzen Landessache – so ist es auch mit Belangen des Bauens und den damit verbundenen Mindestvorgaben. Die Mindest-U-Werte, wie in den Bauordnungen der Bundesländer genannt, wurden daher für die Zeitepochen zwischen etwa 1973 und 2007 als Grundlage für die Default-Werte herangezogen. Mögliche Abweichungen bei den U-Werten sind durch die geringe Auswahl an heranzuziehenden Default-Werten einerseits hinsichtlich der tatsächlichen Werte wahrscheinlich, andererseits entsteht durch die Anwendung von Default-Werten ein Interpretationsspielraum des Energieausweiserstellers der fast zwangsläufig zu Abweichungen zwischen den Ergebnissen führen muss.

Es stellte sich die Frage, inwieweit hier Unterschiede vorliegen. Dies wurde systematisch untersucht und wird in der einer Masterthese (Ulrich Pont) im Detail gezeigt werden. In der folgenden Abbildung 39 zeigen sich die Abweichungen der Bundesländer für ein kleines Gebäude für das Jahr 1985 (Es wurde angenommen, dass keine Bauteil-Daten vorliegen und daher die Default-Werte der Bundesländer herangezogen werden müssen). Beim untersuchten Objekt zeigt sich, dass Abweichungen von bis zu 64% zum Mittel aller Bundesländer hinsichtlich errechneten Heizwärmebedarfs auftreten können, und bis zu 61% bei den mittleren U-Werten. Basierend auf den Default-U-Werten ergeben sich hinsichtlich der errechneten Dämmstärken für die Außenwände Werte zwischen 3,4 und 8,1 cm um auf

den heutigen Neubaustandard zu kommen. Die Dämmstärken erscheinen gering, aber es darf nicht vergessen werden, dass das untersuchte Objekt vermutlich in ganz Österreich mit ähnlichen Materialien und damit verbundenen physikalischen Kennwerten gebaut worden wäre – aus diesem Gesichtspunkt, und auch aus dem Gesichtspunkt, dass es bundesweite thermische Sanierungsförderungen gibt, die am Heizwärmebedarf festgemacht werden, erscheint dies hoch problematisch. Das in Abbildung 40 gezeigte Schema zur Anwendung der Default-Werte wurde basierend auf diesen Erkenntnissen entwickelt.



| Federal state | Comment | KD | OD | AW | DF | FE | g | AT |
|------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Burgenland | Ab 1960 EFH | 1.35 | 0.65 | 1.20 | 0.55 | 3.00 | 0.67 | 2.50 |
| Kärnten | Ab 01.10.1980 | 0.60 | 0.30 | 0.70 | 0.30 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |
| Niederösterreich | Ab 01.1982 | 0.80 | 0.30 | 0.70 | 0.30 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |
| Oberösterreich | Ab 1985 | 0.50 | 0.30 | 0.50 | 0.30 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |
| Salzburg | 1982 – 31.05.2003 | 0.47 | 0.30 | 0.56 | 0.30 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |
| Steiermark | Ab 1983 EFH | 0.60 | 0.30 | 0.70 | 0.30 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |
| Tirol | Ab 01.05.1981 | 0.50 | 0.30 | 0.50 | 0.30 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |
| Vorarlberg | Ab 01.01.1983 | 0.70 | 0.30 | 0.50 | 0.50 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |
| Wien | Ab 15.11.1976 | 0.85 | 0.71 | 1.00 | 0.71 | 2.50 | 0.67 | 2.50 |

| Federal state | Heating Demand [kWh.m ⁻² .a ⁻¹] | Class (Energy certificate) | Heating demand expressed in % of overall average of all states | Mean weighted U-value of the building's envelope [W.m ⁻² .K ⁻¹] | Mean U-value expressed in % of the overall average of all states |
|------------------|---|----------------------------------|--|--|--|
| Burgenland | 258.84 | G | 164% | 1.278 | 161% |
| Kärnten | 146.31 | D | 93% | 0.740 | 93% |
| Niederösterreich | 156.30 | E | 99% | 0.788 | 99% |
| Oberösterreich | 119.34 | D | 76% | 0.609 | 77% |
| Salzburg | 124.43 | D | 79% | 0.634 | 80% |
| Steiermark | 146.31 | D | 93% | 0.740 | 93% |
| Tirol | 119.34 | D | 76% | 0.609 | 77% |
| Vorarlberg | 134.82 | D | 85% | 0.684 | 86% |
| Wien | 215.28 | F | 136% | 1.071 | 135% |
| Average | 157.89 | E | 100% | 0.795 | 100% |

| Federal state | U-Wert _{AW,alt} [W.m ⁻² .K ⁻¹] | U-Wert _{AW,neu} [W.m ⁻² .K ⁻¹] | R _{T,alt} [m ² .K.W ⁻¹] | λ _{WD} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | R _{T,neu} [m ² .K.W ⁻¹] | Erforderliche Dämmstärke [cm] |
|------------------|---|---|--|--|--|-------------------------------------|
| Burgenland | 1.20 | | 0.83 | | | 8.1 |
| Kärnten | 0.70 | | 1.43 | | | 5.7 |
| Niederösterreich | 0.70 | | 1.43 | | | 5.7 |
| Oberösterreich | 0.50 | | 2.00 | | | 3.4 |
| Salzburg | 0.56 | 0.35 | 1.79 | 0.04 | 2.86 | 4.3 |
| Steiermark | 0.70 | | 1.43 | | | 5.7 |
| Tirol | 0.50 | | 2.00 | | | 3.4 |
| Vorarlberg | 0.50 | | 2.00 | | | 3.4 |
| Wien | 1.00 | | 1.00 | | | 7.4 |

| Federal state | HWB _{Ref,alt} [kWh.m ⁻² .a ⁻¹] | HWB _{Ref,neu} [kWh.m ⁻² .a ⁻¹] | Verbesserung [%] |
|------------------|---|---|---------------------|
| Burgenland | 258.84 | 164.02 | 36.63 |
| Kärnten | 146.31 | 107.87 | 26.27 |
| Niederösterreich | 156.30 | 117.75 | 24.66 |
| Oberösterreich | 119.34 | 102.95 | 13.73 |
| Salzburg | 124.43 | 101.47 | 18.45 |
| Steiermark | 146.31 | 107.87 | 26.27 |
| Tirol | 119.34 | 102.95 | 13.73 |
| Vorarlberg | 134.82 | 118.34 | 12.22 |
| Wien | 215.28 | 134.08 | 37.72 |
| Average | 157.89 | 117.48 | 25.59 |

Abbildung 39: Einfluss der Default-U-Werte der Bundesländer auf Heizwärmebedarfsberechnungen. Erste Tabelle: Default-U-Werte für das Jahr 1985; Zweite Tabelle: Ergebnisse für den Heizwärmebedarf und den mittleren U-Wert für das Objekt; Dritte Tabelle: Erforderliche Dämmstärken um die Außenwand des Objektes in jedem Bundesland auf Stand der heutigen Neubauanforderungen zu bringen; Vierte Tabelle: Prozentuelle Verbesserung durch den heutigen thermischen Standard für Außenwände bei dem Objekt im Vergleich zum ursprünglichen Heizwärmebedarf.

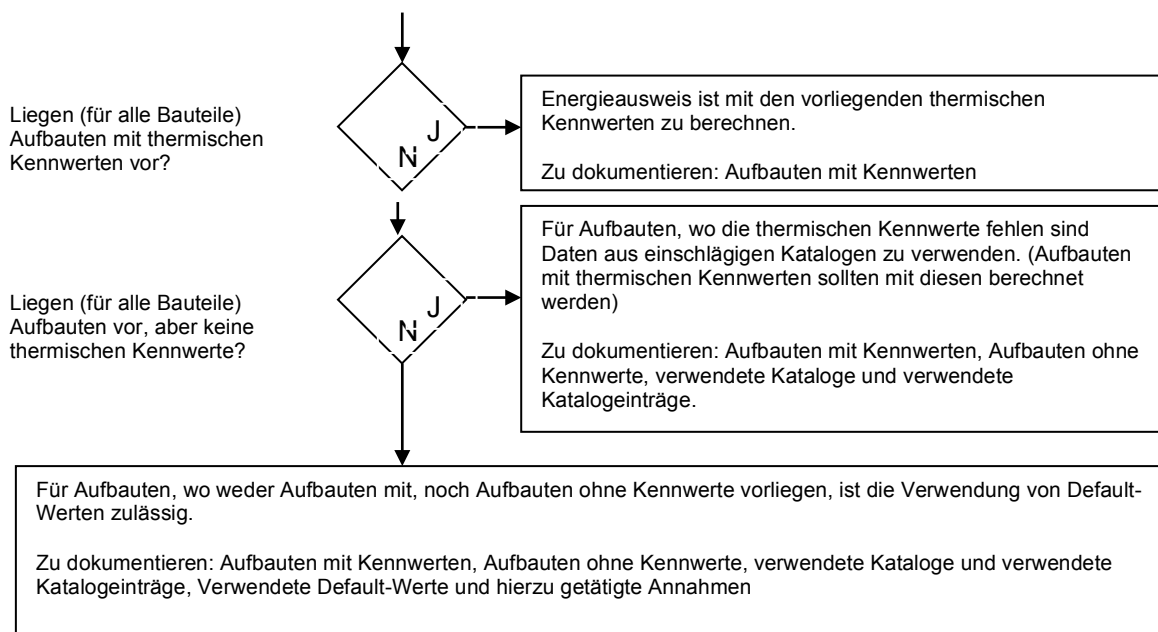
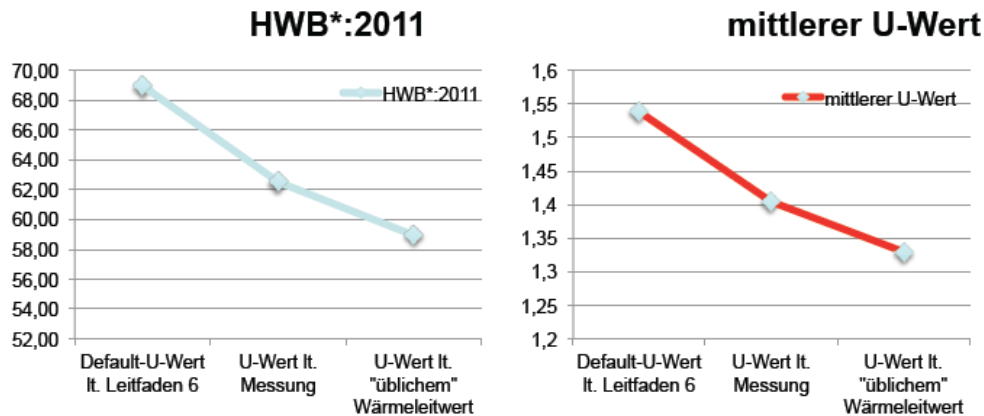


Abbildung 40: Ablaufschema zur Zulässigkeit der Verwendung von Default-Werten

Eine weitere Forschungsbemühung um die Default-Werte kritisch zu hinterfragen befasste sich mit Messungen der U-Werte (Temperaturmethode) in einem gründerzeitlichen Gebäude. Es zeigt sich aber, dass der Einsatz von einfacher Messtechnik mit einer ganzen Reihe von Problemen verbunden ist, die den Einsatz für den regulären Einsatz bei Energieausweisberechnungen verunmöglichen (Nicht-Erreichbare Bauteile, Messungen nur in der Nacht und im Winter halbwegs plausibel möglich, Nähe von Wärmebrücken verfälschen U-Werte, etc.). Diese Bemühungen wurden in der Präsentation zu 10 Jahren Energieausweis im April 2016 in St. Pölten vorgestellt. In Abbildung 41 ist ein Auszug aus diesen Bemühungen dargestellt: Es stellt die Default-Werte, den gemessenen U-Werten, sowie den U-Werten bei üblichem materiellen Wärmeleitwert dar, welche für Wandbauteile eines typischen Gründerzeithauses erhoben wurden. Interessant ist auch wie weit der in vielen Energieausweisen für Bestandsmauerwerk eingesetzte Wärmeleitwert von 0,7 W/mK sowohl von Messung als auch Default-Wert entfernt ist. Ein Wärmeleitwert für gründerzeitliches Ziegelmauerwerk von 0,7 W/mK ist spekulativ, da die Ziegel stärker gebrannt wurden und das Material weniger homogen war, siehe dazu auch den AMz-Bericht 8/2005 der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie¹⁵.



| | HWB*2011 | | mitt.U-Wert | |
|-------------------------------------|----------|------|-------------|------|
| Default-U-Wert lt. Leitfaden 6 | 68,94 | 110% | 1,538 | 110% |
| U-Wert lt. Messung | 62,50 | 100% | 1,404 | 100% |
| U-Wert lt. "üblichem" Wärmeleitwert | 58,93 | 94% | 1,329 | 95% |

Abbildung 41: Einfluss der unterschiedlichen U-Wert-Ermittlungen (Default, Messung, Berechnung auf Basis typischer Kennwerte) auf den Heizwärmebedarf

2.1.3 Abweichungen beim Berechnungsverfahren

Bei der Erstellung von Energieausweisen versteht man unter „Lokalisierung“ das jeweilige Berechnungsverfahren. Unterschiede ergeben sich durch die Überarbeitungen und Neuausgaben der entsprechenden Normen, siehe Tabelle 2. Bei den derzeit in Österreich auf Grund gesetzlicher Vorschriften erstellten Energieausweisen (verpflichtend seit 2008) können, je nach Ausstellungsdatum, bis zu vier verschiedene Berechnungsverfahren zum Einsatz gekommen sein:

- 2008-2010
- 2011
- 2012-2014
- ab 2015

Bei der letzten Neuausgabe der ÖNORM B 8110-6 kam es dabei zu einer entscheidenden Änderung: mit der Einführung des Referenz-Heizwärmebedarfs ($HWB_{Ref,SK}$) können Erträge aus der Wärmerückgewinnung allfällig vorhandener Lüftungsanlagen nicht mehr auf den Heizwärmebedarf angerechnet werden. Außerdem wird der spezifische Heizwärmebedarf nun auch bei Nicht-Wohngebäuden auf die Brutto-Grundfläche (BGF) umgerechnet, was im wesentlichen nur ein Darstellungsunterschied ist. Das Nicht-Berücksichtigen von Erträgen aus der Wärmerückgewinnung wirkt sich aber deutlich auf die angegebene Energiekennzahl aus, siehe . Demgegenüber haben sich bisherige Änderungen relativ geringfügig auf die Energiekennzahl ausgewirkt. Weitere Änderungen gab es bei der Berechnung des Einflusses der Verschattung, siehe 2.1.1.6.

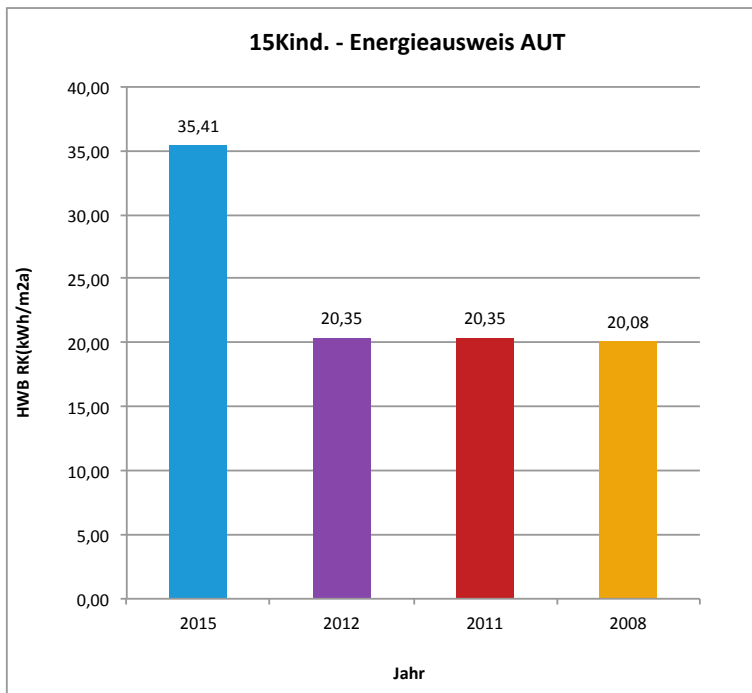


Abbildung 42: Ergebnisse unterschiedlicher Lokalisierung am Fallbeispiel 15Kind.

Bei den Wohngebäuden des Samples A, die allesamt nicht mit einer Lüftungsanlage ausgestattet waren, zeigte sich die größte Differenz zwischen bei der ältesten Lokalisierung (2008).

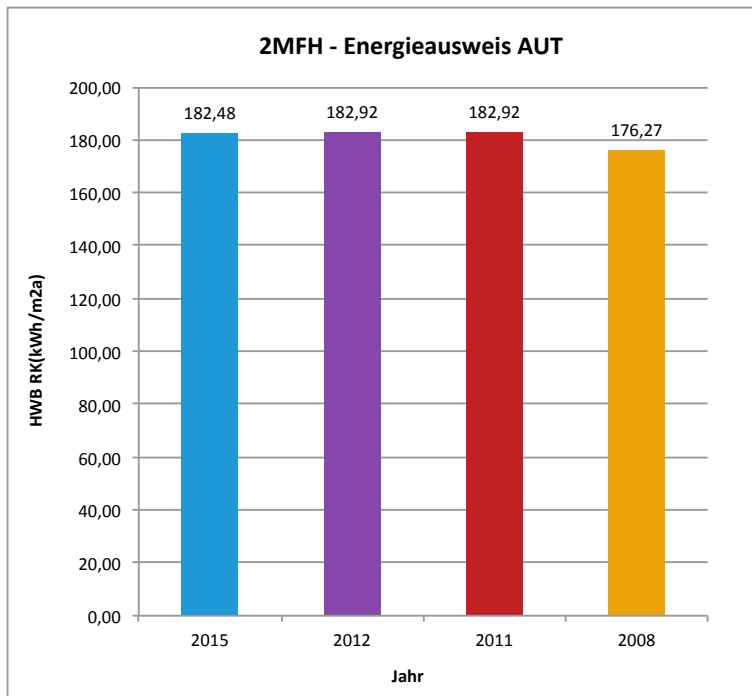


Abbildung 43: Ergebnisse unterschiedlicher Lokalisierung am Fallbeispiel 2MFH

2.2 Fallstudien zum Sample B

2.2.1 Eingabefehler – Relevanz durch Häufigkeit

Beim Sample B handelt es sich um Bestandsgebäude für die kein Energieausweis vorlag. Um herauszufinden welche Fehler besonders häufig auftreten können wurden zwei voneinander unabhängige Ersteller-Teams gebildet, die die Bauwerke des Samples anhand beigestellter Bestandspläne zu ermitteln hatten.

2.2.2 Abweichungen bei der Geometrieingabe

Abbildung 44 zeigt die Ergebnisabweichungen der beiden Gruppen hinsichtlich Heizwärmebedarfs, ermittelter Bruttogeschossfläche und Bruttorauminhalts. Stellt man dann unterschiedliche Eingabedaten gegenüber (Abbildung 45) zeigt sich, dass die Abweichungen vor allem von unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Bauteilqualitäten herrühren (d.h. der Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile) und weniger von Unterschieden bei der Flächenermittlung (Bruttogeschossfläche, Bruttovolumen).

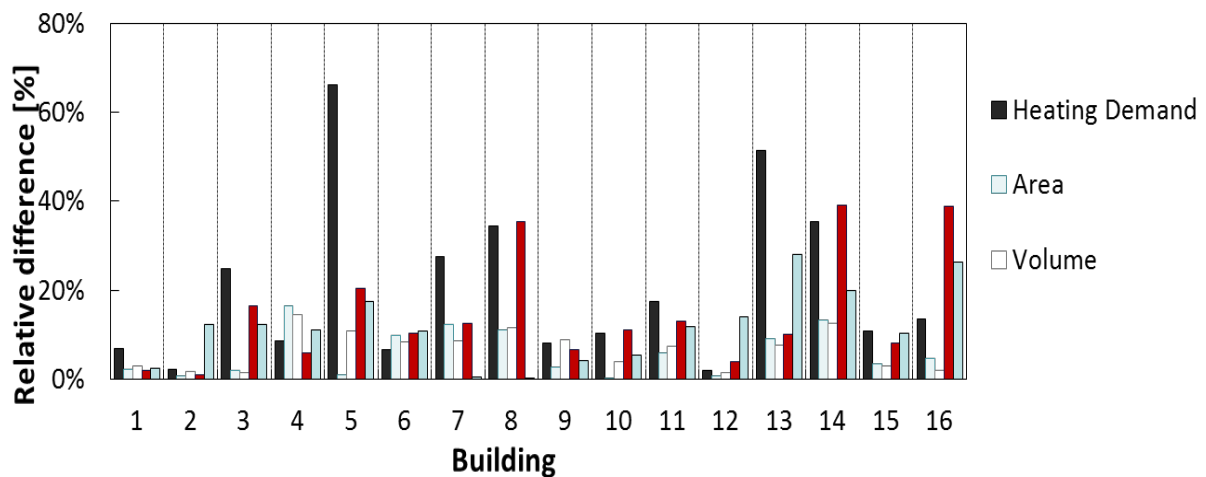
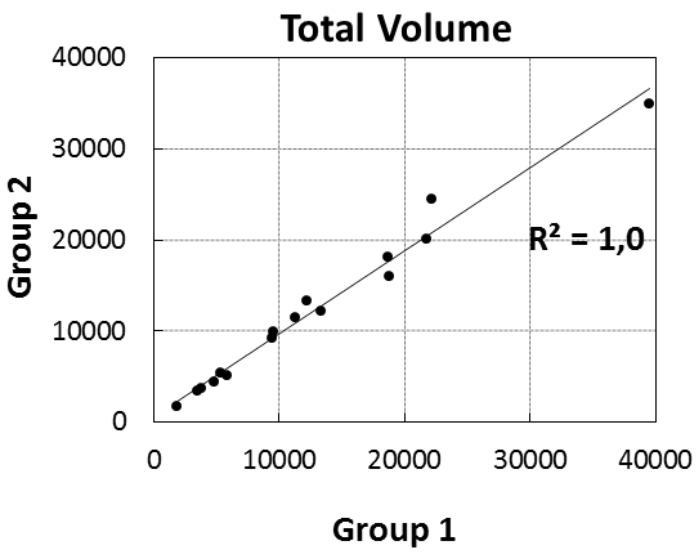
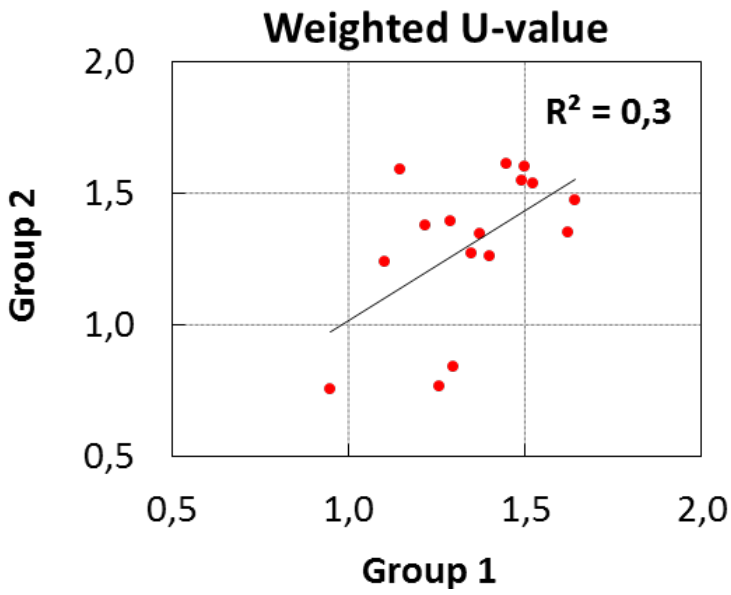
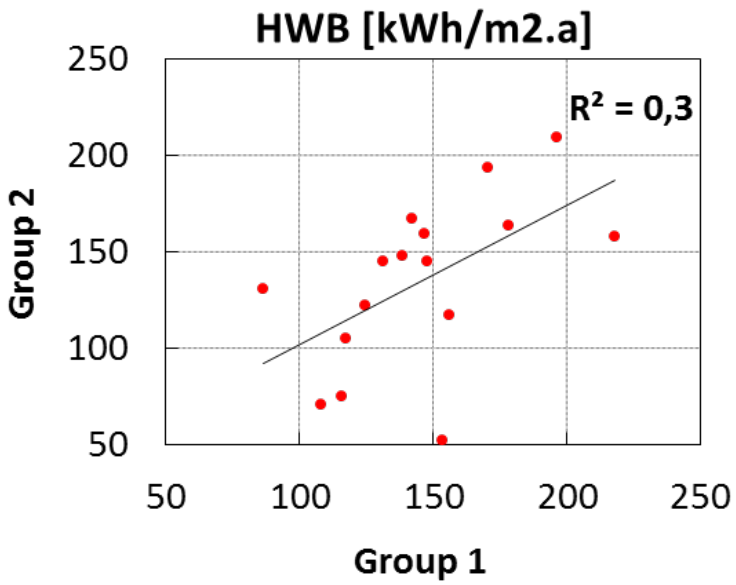


Abbildung 44: Abweichungen der beiden Erstellerguppen betreffend Heizwärmebedarf und Bruttofläche- und -rauminhalt



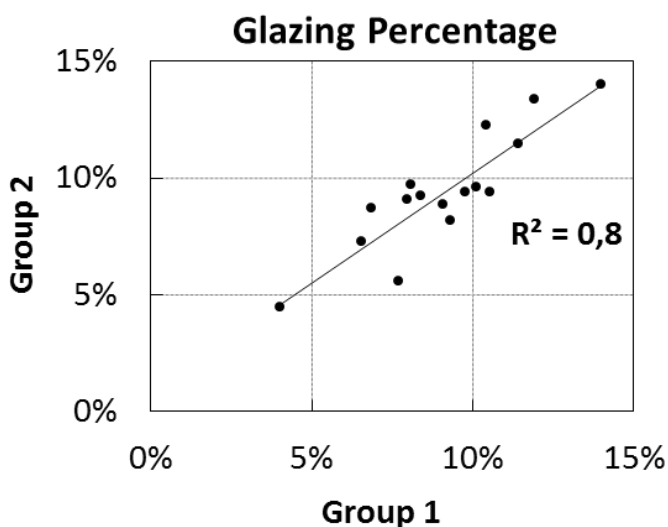
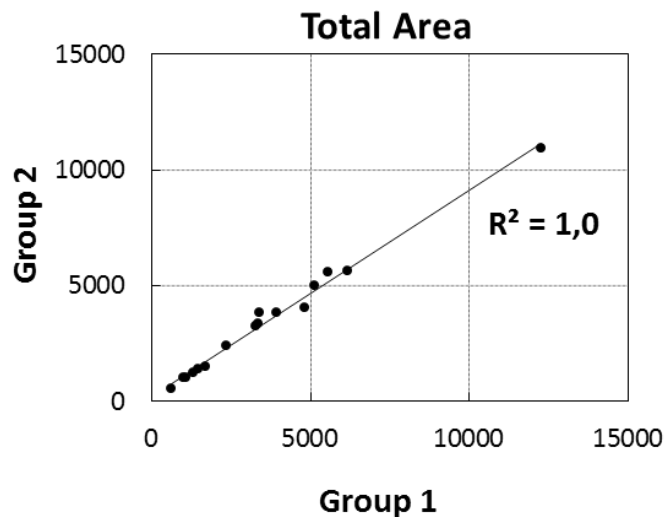


Abbildung 45: Gegenüberstellung der Eingabe- und Ausgabedaten beider Erstellergruppen (Heizwärmebedarf, Bruttofläche, Bruttorauminhalt, Verglasungsanteil, mittlerer U-Wert)

Dieses Ergebnis unterstreicht die Bedeutung der Überlegungen die in den Kapiteln 2.1.2.2 und 2.1.2.3 angestellt wurden.

2.3 Ableiten einer Eingabedokumentation

2.3.1 Elastizität der untersuchten Eingabeparameter am Beispiel der Gebäude des Samples A

In

Abbildung 46 ist jeweils der Median und das Maximum der Elastizität der untersuchten Abweichungen dargestellt. Dabei haben die Maximalwerte durchaus Relevanz, da es ja bei einer Untersuchung von Vergleichbarkeit gerade auch um die mögliche Auswirkung gehen muss.

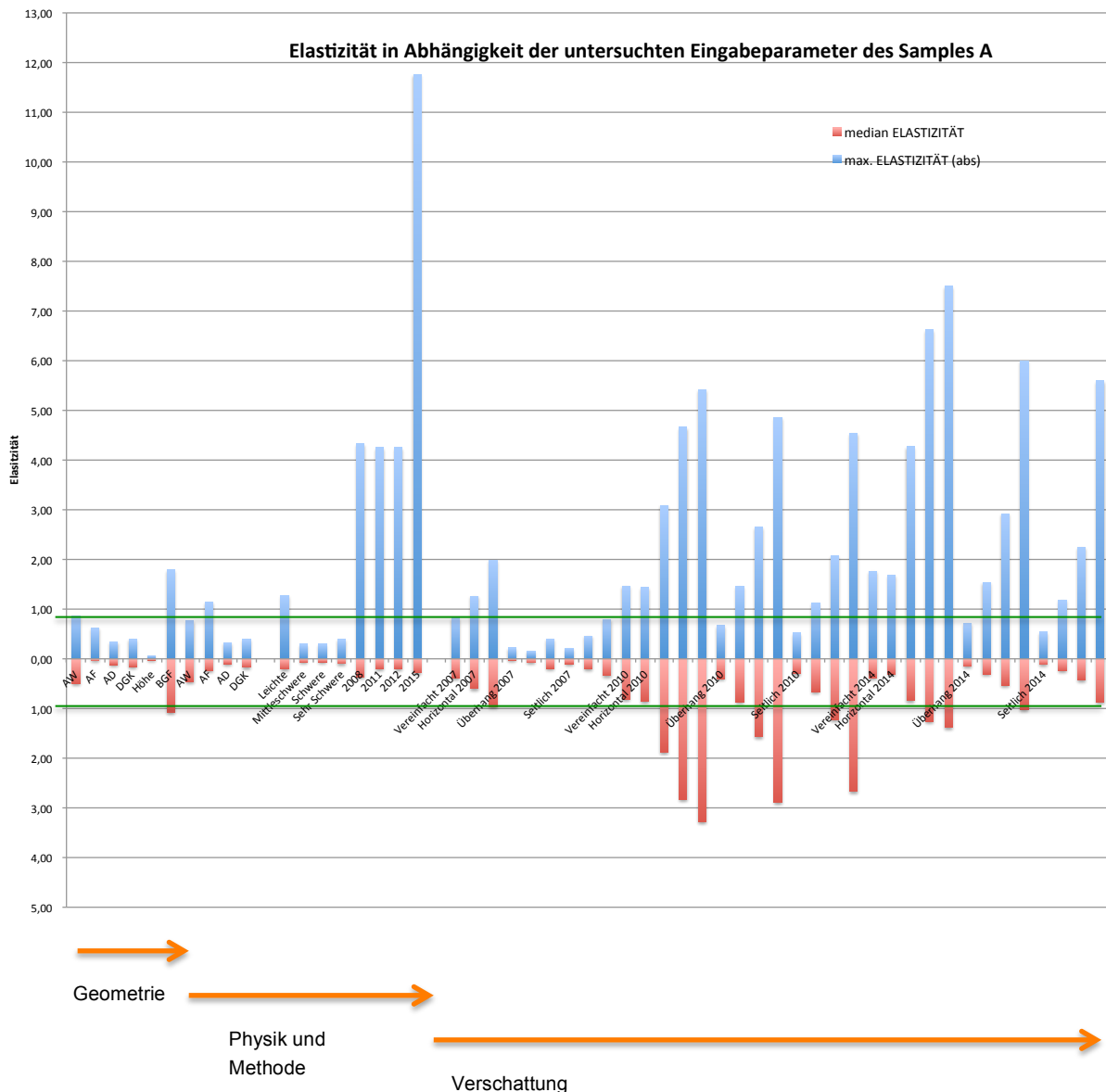


Abbildung 46: Elastizität des Samples A, die grünen Linien zeigen den Elastizitätswert 1,0 an. Balken außerhalb der beiden grünen Linien bedeuten eine hohe Elastizität, innerhalb bedeutet, dass die Auswirkung „unelastisch“ ist, also gering.

Dazu ist anzumerken, dass die Elastizität nicht unbedingt unverändert bleibt, wenn sich das Ausmaß der Abweichung ändert, und zwar überall dort nicht, wo der Zusammenhang zwischen Ergebnis und Eingabeparameter nicht linear ist. Dennoch lassen sich bereits hier einige Schlüsse ziehen. So ist bereits jetzt klar, dass eine genaue Eingabe der Verschattung für die Genauigkeit eines Energieausweise wichtig ist, ebenso die richtige Lokalisierung – wobei hier wohl kaum Fehler gemacht werden. Von großem Einfluss ist die richtige Ermittlung der Bruttogrundfläche (BGF). Hier hat sich allerdings bei der in Kapitel 2.2 beschriebenen Versuchsanordnung gezeigt, dass die Fehlerquote gering war.

Am parametrischen Modell konnten der Zusammenhang zwischen Abweichungen und Elastizität genauer durchgespielt werden. So zeigt sich die Elastizität beim Wärmedurchgangskoeffizienten erwartungsgemäß vom Ausmaß der Abweichung nahezu unbeeinflusst, siehe Abbildung 47.

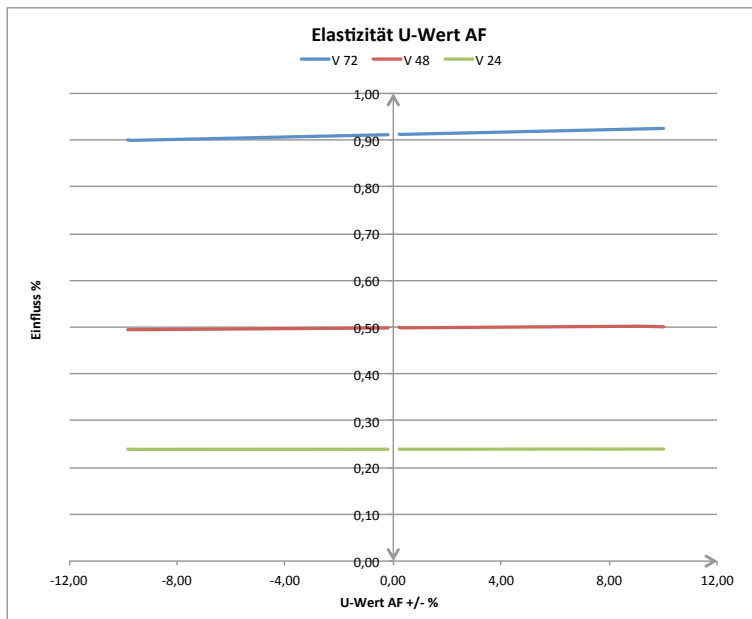


Abbildung 47: Elastizität des U-Wertes der Außenfenster, dargestellt anhand der drei Evaluierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6:2014.

Ganz anders verhält sich das beim Verglasungsanteil, bei dem Auswirkungen auf Grund des Verhältnisses solarer Gewinne zu Verlusten durch die schlechter gedämmten Fenster zu einer nahezu parabolischen Kurve führt, siehe Abbildung 14. Für die Elastizität bedeutet es schwer vorhersehbar Ausschläge, die mit dem Ausmaß der Änderungen aber zunehmend linear werden, allerdings mit deutlicher Steigung. Insgesamt sind zumindest für diese Beispiele die Auswirkungen aber deutlich „unelastisch“, Abbildung 48.

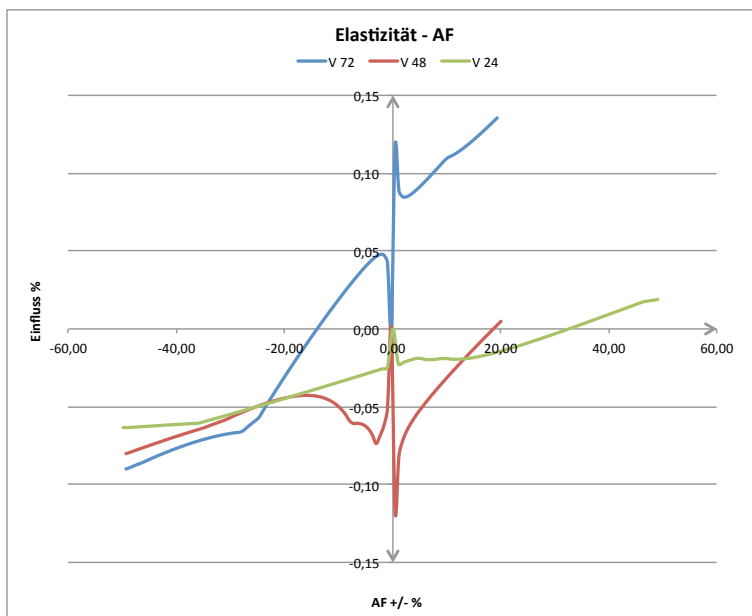


Abbildung 48: Elastizität des Verglasungsanteils, dargestellt anhand der drei Evaluierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6:2014.

2.3.2 Eingabedokumentation

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen wurde ein Schema für eine Eingabedatendokumentation konstruiert. Dabei wurde auf die ABC-Analyse, wie in Tabelle 9 dargestellt zurückgegriffen.

Tabelle 9: ABC-Portfolio der Eingabedaten

| Charakteristik | A-Eingabedaten | B-Eingabedaten | C-Eingabedaten |
|------------------------------------|---|--------------------|---|
| Einfluss auf die Ergebnisse | Starker Einfluss | Mittlerer Einfluss | Geringer Einfluss |
| Dokumentations-Erfordernis | Gute und klare Dokumentation | | Relativ unbedeutend |
| Schwierigkeitsgrad in der Erhebung | verschieden | | |
| Default-Werte | Sollten vermieden werden, sofern nicht anders möglich ist eine gute Dokumentation der verwendeten Werte anzustreben | | Stellen in der Regel kein großes Problem in der Verwendung dar. |

Welche Eingabedaten zu den A-, B- oder C-Eingabedaten gehören hängt von den betrachteten Key Performance-Indikatoren ab. Betrachtet man die internen Wärmegewinne eines Gebäudes, spielen Nutzung und Bruttogeschossfläche eine große Rolle, die Verglasungsflächen in der normativen Formel jedoch nicht. Daher würden für diesen Indikator Bauteilqualitäten und dergleichen unter C-Eingabedaten fallen. Betrachtet man jedoch die im Energieausweis üblichen Indikatoren, wie den Heizwärmebedarf ist eine solche Zuordnung nicht so einfach zu treffen. Abbildung 49 zeigt die Einflussparameter auf die Energiekennzahl des Heizwärmebedarfs mittels der allgemeinen Wärmebilanzgleichung (die auch dem Energieausweisverfahren zugrunde liegt):

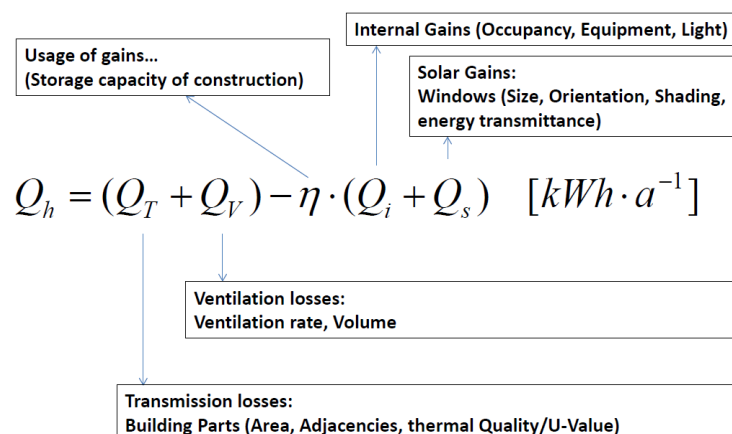


Abbildung 49: Einflussparameter auf den Heizwärmebedarf (dargestellt als Wärmebilanzgleichung, eigene Darstellung)

Grundsätzlich gilt, dass eine Abhängigkeit der einzelnen Einflussparameter stets mit dem Anteil an dem Objekt zu tun hat. Allerdings sollte auch dann genau gearbeitet werden, wenn

der Zusammenhang zwischen Abweichung und Effekt schwerer vorhersehbar ist. Aus Zwecken der Vergleichbarkeit sind im Zweifelsfall alle Eingangsdaten, die einen großen oder komplexen Einfluss haben könn(t)en zu A-Eingabedaten zu erheben.

Eine detailliertere Betrachtung der Haustechnik bzw. der Abbildung der Haustechnik als Einflussparameter für Gesamt- und Energiebedarf lässt diese These allerdings wackelig erscheinen. Obwohl der Einfluss der Systeme auf die tatsächliche Performance enorm ist (wie sich bei Aufenthalt in einem unbeheizten Gebäude im Winter leicht feststellen lässt), ist die Abbildung in der normativen Berechnung des Energieausweises auf wenige Parameter der Haustechnik beschränkt, die einen Multiplikator auf den Heizwärmebedarf bilden. Obwohl diese Daten daher grundsätzlich wichtig sind, können sie dennoch getrost als C-Daten angenommen werden, weil im Energieausweisverfahren im Moment nur die Default-Werte für die Haustechnik verwendet werden dürfen.

Nachstehende Auflistung kann als rudimentäre Kategorisierung in A-, B- und C-Daten entsprechend der Tabelle 10 verstanden werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Einordnung in B oder C auf jeden Fall auch eine gewissenhafte Dokumentation bedeuten muss, jedoch beispielsweise auf normative Dokumente oder ähnlich referenzieren darf.

Bei Verwendung von Default-Werten für die thermische Hüllqualität ist die Quelle und die entsprechend gewählte Kategorie genau zu dokumentieren – damit müssen solche Werte ebenfalls als in die Kategorie A-Eingabedaten fallend betrachtet werden.

In Tabelle 11 ist der Ausschnitt einer den Erkenntnissen der Kategorisierung entsprechenden Dokumentationsmaske abgebildet.

Tabelle 10: Kategorisierung der Eingabedaten

| | komplex? | elastisch? | häufig? | konstitutiv für HWB _{Ref,RK} ? | Rang |
|--|----------|------------|---------|---|------|
| A-Eingabedaten | | | | | |
| Verschattungsverhältnisse | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Geometrie transparenter Bauteile | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| Bruttogrundfläche | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Bauweise | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| B-Eingabedaten | | | | | |
| Lokalisierung | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| Geometrie opaker Bauteile | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Nutzungsprofile | 0 | n/a | 0 | 1 | 1 |
| C-Eingabedaten | | | | | |
| Orientierung opaker Bauteile | 0 | n/a | n/a | 0 | 0 |
| Haustechnikdaten | 0 | n/a | n/a | 0 | 0 |
| Referenzausstattung | 0 | n/a | n/a | 0 | 0 |
| Standort / Klima | 0 | n/a | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 11: Dokumentationstemplate

| Wand | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|-------------|------|-------|------|---|---------|-------|-------|---------|------------|------|----------|-----------|-----------------|-------------|----------------|-------------|-------|---|
| Floor | Element | Index Nr. | From | TO→ | Typ | O | Neigung | Länge | m2 | U-Value | | Lage | Comments | m2 ohne F | Wand | Index Nr. | Fenster Name | From | TO→ | |
| | | | | | | | | | | OIB | Calculated | | | | | | | | | |
| EG Gesch. Höhe (m) 3 | AW-01-EG-N-Awan | 01 | Kond | Außen | Awan | N | 90° | 6 | 18,00 | 0,70 | | | | 13,20 | AW-01-EG-N-Awan | 01 | F-01-EG-N-Afen | Kond | Außen | |
| | AW-02-EG-- | 02 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-02-EG-- | 01 | F-01-2-EG-- | - | - | |
| | AW-03-EG-- | 03 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-03-EG-- | 01 | F-01-3-EG-- | - | - | |
| | AW-04-EG-- | 04 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-04-EG-- | 01 | F-01-4-EG-- | - | - | |
| | AW-05-EG-- | 05 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-05-EG-- | 01 | F-01-5-EG-- | - | - | |
| | AW-06-EG-- | 06 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-06-EG-- | 01 | F-01-6-EG-- | - | - | |
| | for extra walls copy paste a whole upper row | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | IW-01-EG-- | 01 | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-01-EG-- | 01 | F-01-1-EG-- | - | - |
| | IW-02-EG-- | 02 | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-02-EG-- | 01 | F-01-2-EG-- | - | - |
| | IW-03-EG-- | 03 | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-03-EG-- | 01 | F-01-3-EG-- | - | - |
| | IW-04-EG-- | 04 | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-04-EG-- | 01 | F-01-4-EG-- | - | - |
| | IW-05-EG-- | 05 | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-05-EG-- | 01 | F-01-5-EG-- | - | - |
| | IW-06-EG-- | 06 | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-06-EG-- | 01 | F-01-6-EG-- | - | - |
| | OG1 Gesch. Höhe (m) 0 | AW-01-OG1-- | 01 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-01-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - |
| | | AW-02-OG1-- | 02 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-02-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - |
| | | AW-03-OG1-- | 03 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-03-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - |
| | | AW-04-OG1-- | 04 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-04-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - |
| | | AW-05-OG1-- | 05 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-05-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - |
| AW-06-OG1-- | | 06 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-06-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| AW-07-OG1-- | | 07 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-07-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| IW-01-OG1-- | | 01 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-01-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| IW-02-OG1-- | | 02 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-02-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| IW-03-OG1-- | | 03 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-03-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| IW-04-OG1-- | | 04 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-04-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| IW-05-OG1-- | | 05 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-05-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| IW-06-OG1-- | | 06 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-06-OG1-- | 01 | F-01-OG1-- | - | - | |
| OG2 Gesch. Höhe (m) 0 | | AW-01-OG2-- | 01 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-01-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - |
| | | AW-02-OG2-- | 02 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-02-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - |
| | | AW-03-OG2-- | 03 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-03-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - |
| | | AW-04-OG2-- | 04 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-04-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - |
| | | AW-05-OG2-- | 05 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-05-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - |
| | AW-06-OG2-- | 06 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-06-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - | |
| | AW-07-OG2-- | 07 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | AW-07-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - | |
| | IW-01-OG2-- | 01 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-01-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - | |
| | IW-02-OG2-- | 02 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-02-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - | |
| | IW-03-OG2-- | 03 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-03-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - | |
| | IW-04-OG2-- | 04 | - | - | - | - | - | - | 0,00 | | | | | 0,00 | IW-04-OG2-- | 01 | F-01-OG2-- | - | - | |

2.4 Bezug zu den Zielen des Programms „Haus der Zukunft“

Der Energieausweis ist die gesetzlich vorgeschriebene Bewertungsmethode der thermisch-energetischen Qualität von Gebäuden. Eine Auseinandersetzung mit seinen Berechnungsverfahren kann daher Basis zur Weiterentwicklung dieses Werkzeuges sein. In erster Linie versteht sich diese Arbeit aber als Beitrag zur verbesserten Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Energieausweises. Erst wenn die gesetzlich vorgeschriebene Bewertung hinreichend nachvollziehbare und verlässliche Ergebnisse produziert, wird die Aussagekraft des Energieausweises dazu beitragen können, die Nachfrage nach Gebäuden mit besseren Energiekennzahlen zu erhöhen. Weiters können aus den Untersuchungsergebnissen Erkenntnisse abgeleitet werden, die eine entsprechende Hebelwirkung bewirken könnten. Sei es auf der normativen Ebene, wie bei den Default-Werten und der Frage des Einflusses der Bruttogrundfläche, sei es bei der sorgfältigeren Berücksichtigung von Verschattungen bei Neubau oder Sanierung.

3 Schlussfolgerungen

Hinsichtlich der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Verwertung der in diesem Projekt durchgeführten Forschungsbemühungen sind folgende Aspekte festzuhalten:

- Die Energieausweispflicht besteht seit dem Jahr 2006/2007. Damit ist zum jetzigen Zeitpunkt (Februar 2017) festzuhalten, dass die ersten Energieausweise in Folge der 10 jährigen Maximalgültigkeitsdauer auslaufen und erneuert werden müssen. Durch die Vielzahl der unterschiedlichen Berechnungswerkzeuge, Berechnungs-Methoden unterschiedlicher Aussteller, die unterschiedlichen Qualitäten von vorliegenden

Eingabedaten und letztlich die sich im Laufe dieser 10 Jahre verändernden normativen und gesetzlichen Vorgaben, kann vielfach nur mit großer Unsicherheit der Bestand der Energieausweisdaten herangezogen werden, um neue Energieausweise zu generieren. Dies bestätigte sich beispielsweise in einem (unverbindlichen) Informationsaustausch, den Ulrich Pont (P1_BPI) im Herbst 2016 mit VertreterInnen einer großen öffentlichen Immobilienverwaltung geführt hat. Es besteht vielfach und berechtigt Sorge „More of the Same“ zu erhalten, nämlich zwar gültige, aber dennoch nicht unbedingt hochqualitative oder gut dokumentierte Energieausweise, welche im Zweifelsfalle unter Umständen rechtliche Implikationen nach sich ziehen könnten (Haftung). Aus diesem Gesichtspunkt können die Erkenntnisse aus dem Projekt wesentlich dazu beitragen ein besseres Qualitätsmanagement für Energieausweise aufzusetzen und damit einen volkswirtschaftlichen Schaden vermeiden helfen (Vergleiche die Bezeichnung des Energieausweises als „ewig zahnloses Monster“, siehe Anhang / Publikationen).

- Die im Zuge von Konsultationen herbeigezogenen MitarbeiterInnen von ANull Development GmbH (Entwickler der verwendeten und weit verbreiteten Energieausweissoftware ArchiPhysik), haben im Zuge des Opinion Leads des Projektes bestätigt, dass die föderale Struktur Österreichs, die unterschiedliche zeitliche Implementierung von harmonisierten Vorschriften, die unterschiedlichen Fördermodelle und die daraus resultierende Matrix von Energieausweisformen, Vorgaben und Detaillierungsgraden ein Hemmnis für eine sinnvolle und zielgerichtete Evaluierung der Energieperformance von Gebäuden darstellt. Dies wird durch die mangelnde Vollständigkeit der Vorgaben zur Erstellung von Energieausweisen verstärkt. Trotz der prinzipiellen Sinnhaftigkeit eines ganzheitlichen Ansatzes, welcher Gebäudehülle und Haustechniksysteme einbezieht, stellt sich die Frage ob man hier beim Energieausweis noch von einem übersichtlichen und einfach zu erstellendem Instrument sprechen kann. Aus den Sensitivitätsanalysen, die im Projekt durchgeführt wurden, lassen sich Schlüsselparameter ableiten, auf deren Basis ein Neuansatz erfolgen kann bzw. (ein) zusätzliche(r) Key Performance Indikator abgeleitet werden können. Dies wird gerade im Zuge einer Diplomarbeit untersucht. Ein solches Instrument könnte wesentliche wirtschaftliche Vorteile bringen, und komplementär zu den komplex gewordenen Normen bestehen.
- Die akademische Einbettung sowie die Disseminationsaktivitäten können als rege beschrieben werden: Neben zahlreichen Präsentationen und Conference-Proceedings wurden zwei Diplomarbeiten gestartet und das Thema in die akademische Lehre an beiden Universitäten eingebettet. Außerdem ist eine Journalpublikation zu den Inhalten gerade in Vorbereitung. Eine detaillierte Auflistung ist am Ende dieses Berichts (Anhänge) zu finden. Weiterführende F & E Aktivitäten wurden schon kurz unter 2.3. illustriert. Die Projektpartner streben an, diese auch in Folgeprojekten (Drittmittel und Eigenmittelprojekte) zu verfolgen.

4 Ausblick und Empfehlungen

4.1 Überarbeitung der Default-U-Werte

Betrachtet man den großen Bestand von Gebäuden mit Baujahr vor 1945, so wäre eine Überarbeitung der Default-Werte für die Wärmedurchgangskoeffizienten auf Basis tatsächlich ermittelter Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. Wärmeleitzahlen wünschenswert. Diese Zusammenhänge werden von Ulrich Pont in seiner Master Thesis weiter untersucht werden.

4.2 Eingabedokumentation und -möglichkeiten

Die grafischen Benutzeroberflächen (GUI) der verschiedenen, in Österreich validierten Softwarepakete, erleichtern den Energieausweiserstellern das Arbeiten. Die Daten komplexerer und größere Gebäude werden aber mitunter, auf Grund langer Listen, die am Monitor nicht mehr vollständig angezeigt werden, unübersichtlich dargestellt. Zwar gibt es, auch im Zuge der Bemühungen mit Entwicklungen wie Building Information Modelling Schritt zu halten, bei einigen Anbietern die Möglichkeit direkt aus in entsprechender Software aufgebauten Modellen Geometriedaten zu importieren, was wohl eine der sichersten Methoden ist, um die Eingabegeometrie richtig zu erfassen. Hilfreich wäre allerdings, wenn es über die vorgeschriebene Dokumentation hinaus, die bei den untersuchten Softwarepaketen im PDF-Format erfolgt, auch die Möglichkeit gäbe, csv-Daten herauszuschreiben bzw. solche auch zu importieren. Diese könnten dann in Programmen zur Tabellenkalkulation übersichtlicher bearbeitet werden.

4.3 Bedeutung transparenter Flächen

Die große Relevanz der Verschattung und des Verglasungsanteils für die Energiekennzahl HWB sollte zum Anlass genommen werden, die Bedeutung von transparenten Bauteilen und Pufferräumen stärker zu erforschen, aber auch durch Informationskampagne ein größeres Bewusstsein in der Bevölkerung für den positiven Einfluss, den Verglasungen haben können zu schaffen.

Die Konsortialpartner werden in einem bereits angelaufenen Forschungsprojekt das Potential transparenter Räume weiter erforschen, insbesondere in Zusammenhang mit sensorgesteuerten, interaktiven Systemen und auch jenseits des Materials Glas.

4.4 Neukonzeption der Energiekennzahlen

Diese zugegebenermaßen im Sinne der Vergleichbarkeit zu bisherigen Energieausweisen problematische Forderung, basiert auf der Erkenntnis, dass das Abstellen auf einen allein flächenbezogenen Kennwert problematisch ist. Insbesondere höhere Raumhöhen,

Atriumräume oder Galerieräume, die wesentlich für die architektonische Qualität, aber auch für die Qualität der Belichtung und Belüftung sind, werden mit der derzeitigen Methode sogar negativ bewertet. Auch im Hinblick auf die derzeit ohnehin nur schwer abbildbaren Haustechniksysteme, wäre ein Überdenken der bisherigen Kennzahlen, hin zu einfacheren, einfacher zu ermittelnden, aber aussagekräftigeren Indikatoren sinnvoll. Hier könnte man beispielsweise dem LEK-Wert größere Bedeutung beimessen. Dem unzweifelhaft vorhandenen Vorteil größerer Nutzungsdichte (also von mehr Bruttogrundfläche innerhalb der selben Hülle) sollte ein Abschlag gegenübergestellt werden, der die Qualitäten größerer Raumhöhen, etc. berücksichtigt. Auch ein in Relation-Setzen des Primärenergiebedarfs mit der Anzahl der Nutzer wäre wohl aussagekräftiger als Kennzahlen, die einerseits den Anspruch haben, den gebauten Bestand möglichst präzise physikalisch und geometrisch abzubilden, andererseits bei den in sie einfließenden Werten der Haustechnik von hypothetischen und weitestgehend undifferenzierten Default-Werten ausgehen, bzw. wo die Eingabeoptionen eine genauere Abbildung der tatsächlich gebauten Anlage sogar verunmöglichen.

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Methodische Vorgangsweise (links); Im Projekt erstellte Kategorisierung der Eingabedatenunsicherheiten für Energieausweise (rechts)..... | 10 |
| Abbildung 2: Grasshopper-Skript mit C#-Components und Darstellung im 3D-Fenster von Rhino3d..... | 21 |
| Abbildung 3: Auszug aus der erstellten Gebäudedatenbank (Nummer_Nutzungsprofil_Baujahr_Morphologie); Nutzungsprofil: WE - Wohnhaus Einfamilienhaus, WM - Wohnhaus Mehrfamilienhaus, B - Bürogebäude, HS - Höhere schulen und Hochschulen, KP - Kindergarten und Pflichtschulen, WG - Wohn- und Geschäftshaus, V - Verkaufsstätten, VS - Veranstaltungsstätten, G – Gaststätten; Morphologie: R- (Rechteck), I-, L-, U-, T-, O-, H-form, Urbane Situation: F - freistehend, S - in einer Straßenzeile, E- Ecklage; Höhe: vom anschließenden Gelände; Zonierung (W, B, HS, KP, V- Verkauf, L- Lokal, T-technik, roh - nicht benutzt); Dachform (Steildach – S, Flachdach – F); Gebäudetechnik: Gasetagenheizung - GH, Hauszentralheizung (HZH/gas, HZH/öl, HZH/Fernwärme, HZH/Pellets), Wärmepumpe, Solar); ML - mechanische Lüftung, FL - Fensterlüftung, Haus-Dezentralheizung – HDH)..... | 22 |
| Abbildung 4: U-Werte in Relation zum Baualter, Die Trendlinie zeigt deutlich die gesetzlichen Bemühungen um einen besseren U-Wert in den letzten Jahrzehnten..... | 23 |
| Abbildung 5: Von verschiedenen Erstellern errechnete Heizwärmebedarfszahlen von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden in Relation zum Baualter; Die Trendlinie zeigt einen langsam sinkenden HWB im Bestand der Datenbank..... | 23 |
| Abbildung 6: Charakteristische Länge in Relation zum Baualter; Die Kompaktheit ist im Bestand der Datenbank gleichmäßig verteilt ; es lässt sich daher kein Trend feststellen (z.B. hin zu kompakterer Bauweise erkennen)..... | 24 |
| Abbildung 7: Zusatzkategorien von Daten, welche in der Datenbank dokumentiert wurden (Auszug aus dem ECPPM-Paper)..... | 25 |
| Abbildung 8: Verringerung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Flächen der Außenwand, zB durch Fehler in der Dokumentation. Die Verbesserung der Energiekennzahl geht mit einer Verbesserung der Kompaktheit einher..... | 32 |
| Abbildung 9: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 5MFH | 33 |
| Abbildung 10: Verringerung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Flächen der Außenwand, Untersuchung am parametrischen Modell für Nutzungsprofil Einfamilienhaus für drei Evaluierungsprojekte. Die Fenstergrößen bleiben bei der Skalierung gleich..... | 33 |
| Abbildung 11: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Fensterflächen um 10% des Flächenausmaßes für jeweils alle Fenster, negative Zahlen bedeuten eine Verringerung, positive Zahlen eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs..... | 34 |
| Abbildung 12: Erhöhung des Heizwärmebedarfs bei Verringerung der Fensterflächen..... | 34 |
| Abbildung 13: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 18HSch. | 35 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 14: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Fensterflächen, Untersuchung am parametrischen Modell für Nutzungsprofil Einfamilienhaus für drei Evaluierungsprojekte..... | 36 |
| Abbildung 15: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Außendecke..... | 36 |
| Abbildung 16: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 11BÜRO | 37 |
| Abbildung 17: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der DGK..... | 38 |
| Abbildung 18: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 13GESCH | 38 |
| Abbildung 19: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der gesamten Hüllfläche, Untersuchung am parametrischen Modell für Nutzungsprofil Einfamilienhaus für drei Evaluierungsprojekte..... | 39 |
| Abbildung 20: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 16Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2007 | 40 |
| Abbildung 21: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 17Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2010 | 40 |
| Abbildung 22: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 18Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2014 | 41 |
| Abbildung 23: Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Veränderung der Verschattung am Fallbeispiel 18Hsch. – gerechnet nach ÖNORM B 8110-6:2014 | 41 |
| Abbildung 24: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung des Volumen durch Abweichungen bei der Gebäude- oder Geschoßhöhe | 42 |
| Abbildung 25: Mögliche Auswirkung einer Veränderung des Volumen durch Abweichungen bei der Gebäude- oder Geschoßhöhe auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 16Hsch. Der Unterschied ist kaum darstellbar. | 42 |
| Abbildung 26: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung des Volumen durch Abweichungen bei der Bruttogrundfläche | 43 |
| Abbildung 27: Mögliche Auswirkung einer Veränderung des Volumens durch Abweichungen bei der Bruttogrundfläche auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 16Hsch. | 43 |
| Abbildung 28: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Volumen..... | 44 |
| Abbildung 29: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und der Wärmeverluste | 47 |
| Abbildung 30: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei geringen Wärmeverlusten | 47 |
| Abbildung 31: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei mittleren Wärmeverlusten | 47 |
| Abbildung 32: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei hohen Wärmeverlusten | 48 |
| Abbildung 33: Veränderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit der Bauweise und des Volumens bei sehr hohen Wärmeverlusten | 48 |
| Abbildung 34: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der Bauweise | 49 |
| Abbildung 35: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 17Hsch bei Veränderung der Bauweise..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 36: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Veränderung der U-Wert Global, ermittelt am parametrischen Modell der Evaluierungsbeispiele..... | 50 |
| Abbildung 37: Einfluss des U-Werts verschiedener Bauteile am Beispiel von 6MFH, Baujahr 1914..... | 50 |
| Abbildung 38: Mögliche Auswirkung auf die Energieeffizienzklasse bei Fallbeispiel 6MFH bei Abweichungen des U-Wertes der Außenwand..... | 51 |
| Abbildung 39: Einfluss der Default-U-Werte der Bundesländer auf Heizwärmebedarfsberechnungen. Erste Tabelle: Default-U-Werte für das Jahr 1985; Zweite Tabelle: Ergebnisse für den Heizwärmebedarf und den mittleren U-Wert für das Objekt; Dritte Tabelle: Erforderliche Dämmstärken um die Außenwand des Objektes in jedem Bundesland auf Stand der heutigen Neubauanforderungen zu bringen; Vierte Tabelle: Prozentuelle Verbesserung durch den heutigen thermischen Standard für Außenwände bei dem Objekt im Vergleich zum ursprünglichen Heizwärmebedarf..... | 53 |
| Abbildung 40: Ablaufschema zur Zulässigkeit der Verwendung von Defaultwerten..... | 54 |
| Abbildung 41: Einfluss der unterschiedlichen U-Wert-Ermittlungen (Default, Messung, Berechnung auf Basis typischer Kennwerte) auf den Heizwärmebedarf..... | 55 |
| Abbildung 42: Ergebnisse unterschiedlicher Lokalisierung am Fallbeispiel 15Kind..... | 56 |
| Abbildung 43: Ergebnisse unterschiedlicher Lokalisierung am Fallbeispiel 2MFH..... | 56 |
| Abbildung 44: Abweichungen der beiden Erstellergruppen betreffend Heizwärmebedarf und Bruttofläche- und -rauminhalt..... | 57 |
| Abbildung 45: Gegenüberstellung der Eingabe- und Ausgabedaten beider Erstellergruppen (Heizwärmebedarf, Bruttofläche, Bruttorauminhalt, Verglasungsanteil, mittlerer U-Wert)..... | 59 |
| Abbildung 46: Elastizität des Samples A, die grünen Linien zeigen den Elastizitätswert 1,0 an. Balken außerhalb der beiden grünen Linien bedeuten eine hohe Elastizität, innerhalb bedeutet, dass die Auswirkung „unelastisch“ ist, also gering..... | 60 |
| Abbildung 47: Elastizität des U-Wertes der Außenfenster, dargestellt anhand der drei Evaluierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6:2014..... | 61 |
| Abbildung 48: Elastizität des Verglasungsanteils, dargestellt anhand der drei Evaluierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6:2014..... | 61 |
| Abbildung 49: Einflussparameter auf den Heizwärmebedarf (dargestellt als Wärmebilanzgleichung, eigene Darstellung)..... | 62 |

5.2 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Fassungen und Inkrafttreten der OIB Richtlinien | 16 |
| Tabelle 2: ÖNORMen die für die Berechnungsmethode heranzuziehen sind | 18 |
| Tabelle 3: EDV-Programme für die Energieausweisberechnung in Österreich | 19 |
| Tabelle 4: Validierungsbeispiele zur ÖNORM B 8110-6:2010 | 20 |
| Tabelle 5: Validierungsbeispiele zur ÖNORM B 8110-6, Bbl 1:2015-11-15 | 21 |
| Tabelle 6: Sample A | 27 |
| Tabelle 7: Sample B (Auszug aus dem ECPPM-Paper; Abkürzungen betreffend Usage: V...Verkauf, W....Wohnen, L...Gastronomie, B....Büro, HS...Schulen, T...Technikräumlichkeiten; Abkürzungen betreffend Urban Situation/urbaner Einbettung: F... Freistehend, S... in einer Straßenfront, E... in einer Ecklage; Abkürzungen betreffend Morphologie beschreiben die Grundform des Bauwerks, R...rechteckig, I...I-Förmig, L...L- Förmig, O...ringförmig, U...U- U-Förmig, T...T-förmig..... | 29 |
| Tabelle 8: Einteilung der Bauweisen gemäß ÖNORM B 8110-6:2014 | 45 |
| Tabelle 9: ABC-Portfolio der Eingabedaten | 62 |
| Tabelle 10: Kategorisierung der Eingabedaten | 63 |
| Tabelle 11: Dokumentationsnemplate..... | 64 |

5.3 Literaturverzeichnis

Universität Hamburg, Fachbereich Physik: Fehlerrechnung. <https://www.physnet.uni-hamburg.de/TUHH/Versuchsanleitung/Fehlerrechnung.pdf> (abgerufen am 2. Dezember 2016, 13:06)

ON Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 8110 (Teil 1 – Teil 7), ON Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2007 - 2015

EAVG 2006. Österreichisches Energieausweisvorlagegesetz 2006. <http://www.ris.gv.at> (abgerufen am 5. August 2015, 13:15)

EAVG 2012. Österreichisches Energieausweisvorlagegesetz 2012. <http://www.ris.gv.at> (abgerufen am 5. August 2015, 13:15)

EBPD 2002. European Directive on Buildings, 2002. Directive 2002/91/EC. <http://eur-lex.europa.eu> (abgerufen am 5. August 2015, 13:20)

EPBD 2010. European Directive on Buildings, 2010. Directive 2010/31/EU. <http://eur-lex.europa.eu> (abgerufen am 5. August 2015, 13:20)

Graham, R. J.: Managerial Economics. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA 2013.

Hofstrand, D. 2007. Elasticity of demand. IOWA State University, USA. <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/pdf/c5-207.pdf> (abgerufen am 14.4.2016 um 11:22)

International Standardization Organization: ISO 13790:2008, Energy performance of buildings -- Calculation of energy use for space heating and cooling. International Standardisation Organisation, Geneva, Switzerland 2008

Kaiser, J.: Tickende Zeitbomben. In: Report Verlag GmbH: Immo-Report 03/2009, Wien 2009

OIB 2015a. OIB-Richtlinie Energieeinsparung und Wärmeschutz. Vienna, Österreichisches Institute für Bautechnik <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2015>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:51)

OIB 2016b. Leitfaden zur OIB-Richtlinie 6. Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Vienna, Österreichisches Institute für Bautechnik <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2015>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:51)

Sommer, B., Pont, U.: Energy Design by Evolution, Applying Evolutionary Computing to Energy Efficient Design. In: Trans Tech Publications: Advanced Materials Research (Vol 899), S. 120-125, Zürich 2014

Pont, U., Sommer, B., & Mahdavi, A. 2011. Sources of uncertainty in compilation of energy certificates.; In: "Buildings & Environments 2011 – Visions, Common Practice, Legislation" Bratislava, 20.10.2011, R. Rabenseifer et al. (Ed.), STU Bratislava, Paper-No 36.

AMz-Bericht 8/2005, „Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk im historischen Wandel“, <http://www.ziegel.de/cgi-bin/tamzserver.exe/phpamz?id=25041>, (abgerufen am 3.2.2016 um 9:12)

U. Pont: "Energieausweise als Gutachten - Status Quo und vorherrschende Probleme"; Vortrag: Ringvorlesung Gutachten, Gutachter und Sachverständige, Wien, TU Wien; 06.10.2015 - 19.01.2016.

U. Pont, B. Sommer, M. Sommer-Nawara, A. Mahdavi: "EDEN - Entwicklung einer strukturierten und fehlerminimierten Datenaufbereitung und Dokumentation für Energieausweise"; in: "Stadt der Zukunft: Intelligente Energielösungen für Gebäude und Städte (Vernetzungstreffen 2. Call)", BMVIT (Hrg.); herausgegeben von: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; Stadt der Zukunft - Intelligente Energielösungen für Gebäude und Städte, Wien 2015, S. 32 - 33.

U. Pont: "EDEN-Project & BAU_WEB-Work-Report"; Vortrag: Current Topics in Building Performance WinterTerm 2015/2016, Wien 09.10.2015 - 22.01.2016.

Sommer, U. Pont, G. Adam, K. Bollinger, A. Kropf, A. Mahdavi, O. Proskurnina, M. Sommer-Nawara, M. Taheri: "Der Einfluss von Default-Werten auf die Ergebnisse von Bestandsenergieausweisen"; Hauptvortrag: 10 Jahre Energieausweis - Rückblick, Ausblick, Erfahrungen aus der Praxis, Wie geht es weiter?, St. Pölten (eingeladen); 14.04.2016.

U. Pont, O. Proskurnina, M. Taheri, A. Mahdavi, B. Sommer, M. Sommer-Nawara, G. Adam: "Acquisition and processing of input data for building certification: An approach to increase the reproducibility of energy certificates"; Vortrag: ECPPM 2016 eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, Limassol, Cyprus; 07.09.2016 - 09.09.2016; in: "Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling", S.E. Christodoulou, R.J. Scherer (Hrsg.); Balkema, (2016), ISBN: 9781138032804 S. 243 - 250.

U. Pont, M. Taheri, O. Proskurnina, A. Mahdavi: "Das EDEN Projekt - eine fundamentale Untersuchung der Auswirkung von unsicheren Eingabedaten auf Resultate von Energieausweisen"; angenommen für: "Forschungstag 2016", Fakultät für Arch & RPL (Hrg.); herausgegeben von: Tu Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungstag 2016, Wien, 2016.

U. Pont, O. Proskurnina, M. Taheri, A. Mahdavi, B. Sommer, M. Sommer-Nawara, G. Adam: "EDEN - Entwicklung einer strukturierten und fehlerminimierten Datenaufbereitung und Dokumentation für Energieausweise"; Poster: Blickpunkt Forschung: Smart Communities und Technologies, TU Wien | Festsaal & Boecklsaal (eingeladen); 17.10.2016.

U. Pont: "Current Issues in Building Performance: The EDEN-project and the BAU_WEB-project"; Vortrag: Current Topics in Building Performance WinterTerm 2016/2017, Current Topics in Building Performance WinterTerm 2016/2017; 07.10.2016 - 20.01.2017.

U. Pont: "Ein Gutachten für jedes Gebäude: Die Implementierung der Energieausweispflicht in Österreich und der damit verbundene Rattenschwanz an Konsequenzen...."; Vortrag: Ringvorlesung Gutachten, Gutachter und Sachverständige, TU Wien, WS2016/2017, TU Wien, GM4 Knoller HS (eingeladen); 04.10.2016 - 24.01.2017.

U. Pont: "Building Performance in Different Scales (Teaching and Research)"; Hauptvortrag: 3rd. Biennale ICIAP 2016 - International Conference of Indonesian Architecture and Planning - "Inclusive Space, Enriching Culture", Jogjakarta, Indonesien (eingeladen); 11.08.2016 - 12.08.2016.

Die Vermessung der Energie-Effizienz (FFG Eden: IoA/ED Research Team, TU/BPI Research Team), Featuring a lecture by Prof. A. Mahdavi: Architectural Science: Quo Vadis? 27. Jänner 2016, 17:00 Seminarraum B (OG, Ferstel-Trakt) (siehe nachstehende Abbildung)

6 Anhang

Auf Anfrage kann eine in das XLS-Format transponierte strukturierte Eingabedatendokumentation zur Verfügung gestellt werden. Es handelt sich um eine Dokumentationsvorlage zu Dokumentationszwecken, mit deren Hilfe bestimmte Fallen im Bereich Uncertainties von Energieausweisen durch ausreichende Dokumentation vermieden werden können. Dieses Dokument versteht sich zu Demonstrationszwecken. Eine Weitergabe oder Verwendung ohne vorherige Abstimmung mit den Studienautoren ist nicht zulässig.

- D61_Strukturierte_Eingabedatendokumentation_EDENend.xlsx

-
- ¹ <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien>, (abgerufen am 20.1.2017 um 17:53)
- ² <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2007>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:07)
- ³ <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2011>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:18)
- ⁴ <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2015>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:51)
- ⁵ <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2007>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:07)
- ⁶ <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2011>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:18)
- ⁷ <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2015>, (abgerufen am 20.1.2017 um 15:51)
- ⁸ <https://www.ax3000.at/energieausweis.php>, (abgerufen am 7.10.2015 um 9:30)
- ⁹ <http://www.archiphysik.at>, (abgerufen am 7.10.2015 um 9:30)
- ¹⁰ <https://www.geq.at>, (abgerufen am 7.10.2015 um 9:30)
- ¹¹ <http://www.ecotech.cc>, (abgerufen am 7.10.2015 um 9:30)
- ¹² <http://www.etu.at/software/energienachweise/gebaeudeprofi>,
(abgerufen am 7.10.2015 um 9:50)
- ¹³ Hofstrand, D. 2007. Elasticity of demand. IOWA State University, USA.
Available online: <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/pdf/c5-207.pdf>,
(abgerufen am 14.4.2016 um 11:22)
- ¹⁴ ebd.
- ¹⁵ AMz-Bericht 8/2005,
„Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk im historischen Wandel“,
<http://www.ziegel.de/cgi-bin/tamzserver.exe/phpamz?id=25041>,
(abgerufen am 3.2.2016 um 9:12)