



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DIPLOMARBEIT

Entwicklung eines Berechnungsmodells für den individuellen Energieverbrauch verschiedener Haushalte für Raumheizung und Warmwasser anhand baugleicher Kleingartenwohnhäuser

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

**Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Bednar,
Univ. Ass. Dipl.-Ing. Maximilian Neusser und
Dipl.-Ing. Christoph Harreither**

E 206

Institut für Hochbau und Technologie
Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Astrid Lederer

Matr.Nr.: 0425599

Danksagung

Den Wunsch, meine Abschlussarbeit mit so viel Freude und Interesse an der untersuchten Materie zu absolvieren, habe ich schon lange gehegt. Prof. Thomas Bednar hat mir dazu die Möglichkeit geboten und mich besonders umsichtig betreut; dafür möchte ich mich sehr herzlich bedanken.

Meinen beiden betreuenden Assistenten Christoph Harreither und Maximilian Neusser möchte ich ebenso für die tolle Unterstützung und die wertvollen Anregungen meinen großen Dank aussprechen.

Die so umfangreiche Datenerhebung, besonders die Durchführung der Blower-Door-Messungen und die Auswertung der Datenlogger, ist nur dank dem großen Einsatz von Christoph Harreither, Martin Zingerle, Harald Hofbauer und Manfred Grüner möglich gewesen.

Die zahlreiche Beteiligung der Bewohner der untersuchten Kleingartenwohnanlage hat die Durchführung dieser Studie allerdings erst ermöglicht, darum gilt auch ihnen ein Dankeschön für ihre Hilfsbereitschaft und den erbrachten Zeitaufwand.

Mein besonders herzlicher Dank gilt meinem Freund Thomas Eder, der mir immer zur Seite steht und in turbulenten Zeiten mein Fels in der Brandung ist. Seine vielfältige Unterstützung hat wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Mein größter Dank gebührt meinen Eltern, die mich auf meinem bisherigen Lebensweg immens unterstützt und meine Ausbildung erst ermöglicht haben. Sie haben mir ein liebevolles Umfeld geboten, Verständnis und Geduld aufgebracht, mich ermutigt und motiviert und sind immer für mich da gewesen.

Diese Arbeit widme ich meinem Vater Gerhard Lederer.

Kurzfassung

Entwicklung eines Berechnungsmodells für den individuellen Energieverbrauch verschiedener Haushalte für Raumheizung und Warmwasser anhand baugleicher Kleingartenwohnhäuser

Dem standardisierten Energieausweis liegen genormte Rechenverfahren, synthetische Außenklimadaten und eine standardisierte Nutzung zugrunde, um eine vergleichbare Bewertung des energietechnischen Verhaltens von Gebäuden zu ermöglichen. Aus denselben Gründen ist der Energieausweis allerdings ungeeignet, den tatsächlichen Energieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser individueller Nutzer zu prognostizieren, was ein Problem für Gebäudeplaner und Energieberater darstellt.

Diese Arbeit präsentiert eine an die individuellen Nutzungsbedingungen und das reale Außenklima angepasste Energiebedarfsberechnung, die im Rahmen einer Studie von 35 annähernd baugleichen Kleingartenwohnhäusern erstellt wurde.

Die untersuchten Häuser besitzen prinzipiell die gleiche thermische Gebäudehülle und unterscheiden sich nur in Orientierung und Existenz eines Kellers.

Um Informationen über das energieverbrauchsbezogene Nutzerverhalten zu erlangen, wurden Fragebögen erstellt und zusätzlich Interviews durchgeführt. Es wurden die Nutzerdemographie, das Lüftungsverhalten, der Warmwasserverbrauch, Stromverbrauchsdaten und Parameter des thermischen Komforts erhoben. Zusätzlich dazu wurden Datenlogger in den Wohnräumen angebracht, um die tatsächliche Innenraumtemperatur zu messen.

Weitere Datenlogger wurden verwendet, um die Außentemperatur in der Kleingartenwohnanlage zu erfassen.

Außerdem wurde die Luftdichtheit der Gebäudehülle durch Blower-Door-Messungen ermittelt, um die Infiltrationsverluste besser abschätzen zu können.

Das Berechnungsverfahren des standardisierten Energieausweises wurde derart modifiziert, dass alle erhobenen Daten berücksichtigt werden konnten und somit ein Prognosemodell zur Abschätzung des tatsächlichen, individuellen Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser entstand.

Zur Validierung des Modells wurden die errechneten mit den faktischen Werten verglichen, die den Energieabrechnungen von einem Zeitraum von drei Jahren entnommen wurden.

Die durch das adaptierte Berechnungsverfahren ermittelten Werte weisen eine sehr hohe Korrelation zu den gemessenen Daten auf. Das entwickelte Prognosemodell gibt zudem Information über den Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch im Einfamilienhausbereich.

Abstract

Development of a calculation model for the individual energy consumption of different households for space heating and domestic hot water based on identical detached houses

The building energy performance certificate is based on standardized calculations, synthetic outdoor climate data and a standardized user performance to allow a comparable rating of the thermal building performance. Due to the same reasons, this certificate is inappropriate to estimate the individual user's energy consumption for space heating and domestic hot water, which is a problem for building planners and energy consultants.

Based on a study of 35 almost identical detached houses, this thesis presents an energy consumption calculation that is adapted to the individual users' behaviours and the real outdoor climate conditions.

The investigated houses have basically the same thermal envelope and differ only in orientation and existence of a basement.

To gather information about the energy consumption related user behaviours, questionnaires were created and interviews were conducted. The collected data involved user demographics, ventilation behaviour, hot water consumption, power consumption and thermal comfort parameters. Furthermore, data loggers were installed in the living rooms to measure the actual indoor temperature.

Additional data loggers were used to obtain the outdoor temperature data in the investigated residential estate.

Moreover, the building airtightness was measured by blower door tests to improve the estimation of the infiltration losses.

The standardized calculations of the building energy performance certificate were modified in such a way that all collected data could be factored in. Therefore, a prediction model was developed to estimate the individual users' energy consumption for space heating and domestic hot water.

The validation of the model was done by comparing the calculated and the measured data that were taken from the energy bills over a period of three years.

The data, calculated by the adapted model, show a very high correlation to the measured data. The developed prediction model also provides information about the influence of the user behaviour on the energy consumption in single-family housing.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Ziel der Arbeit	1
1.2	Stand des Wissens	2
2	Untersuchungsobjekte	5
2.1	Gebäudetypologie.....	5
2.2	Heizsystem und Warmwasseraufbereitung	8
3	Methodik	9
3.1	Datenerhebung	9
3.1.1	Fragebogen und Interview.....	9
3.1.2	Datenlogger	12
3.1.2.1	Innentemperatur	12
3.1.2.2	Außentemperatur.....	13
3.1.3	Gebäudebezogene Daten	13
3.1.4	Blower-Door-Messungen.....	14
3.2	Allgemeine Berechnungsgrundlagen	15
3.2.1	Rechtliche Vorschriften	15
3.2.2	Berechnungsmethodik	16
3.3	Nutzerdemographie	19
3.3.1	Personengruppen	19
3.3.2	Personenanzahl	19
3.3.3	Anwesenheit	20
3.3.3.1	Urlaub.....	20
3.3.3.2	Personenanwesenheit	20
3.3.3.3	Haustieranwesenheit	22
3.4	Lüftungswärmeverluste.....	22
3.4.1	Lüftungswärmeverluste in der standardisierten Energiebedarfsberechnung	22
3.4.2	Lüftungswärmeverluste in der adaptierten Energiebedarfsberechnung	24
3.4.2.1	Infiltration.....	25
3.4.2.2	Fensterlüftung	26
3.4.2.2.1	Fensteröffnen.....	28
3.4.2.2.2	Fensterkippen	29

3.4.2.2.3	Berücksichtigung der Fensterlüftung im unbeheizten Keller.....	30
3.4.2.3	Mechanische Lüftung	30
3.4.2.3.1	Ventilator Bad	30
3.4.2.3.2	Ventilator WC.....	32
3.5	Transmissionswärmeverluste.....	33
3.5.1	Transmissionswärmeverluste in der standardisierten Energiebedarfsberechnung	33
3.5.2	Transmissionswärmeverluste in der adaptierten Energiebedarfsberechnung	35
3.6	Innere Wärmegewinne.....	36
3.6.1	Innere Wärmegewinne in der standardisierten Energiebedarfsberechnung	37
3.6.2	Innere Wärmegewinne in der adaptierten Energiebedarfsberechnung	37
3.6.2.1	Elektrische Geräte und künstliche Beleuchtung	38
3.6.2.2	Personen.....	38
3.6.2.3	Haustiere.....	41
3.7	Innenklima	43
3.7.1	Innenklima in der standardisierten Energiebedarfsberechnung	43
3.7.2	Innenklima in der adaptierten Energiebedarfsberechnung.....	43
3.7.2.1	Erhobene Innentemperatur.....	43
3.7.2.2	Heizdauer	45
3.7.2.3	Absenktemperatur	45
3.7.2.4	Absenkdauer	46
3.8	Außenklima.....	47
3.8.1	Außenklima in der standardisierten Energiebedarfsberechnung	47
3.8.2	Außenklima in der adaptierten Energiebedarfsberechnung.....	47
3.8.2.1	Außentemperaturwerte.....	47
3.8.2.2	Strahlungswerte.....	49
3.9	Warmwasserwärmebedarf	49
3.9.1	Warmwasserwärmebedarf in der standardisierten Energiebedarfsberechnung	49
3.9.2	Warmwasserwärmebedarf in der adaptierten Energiebedarfsberechnung	50
3.10	Validierung.....	53
3.10.1	Korrelationskoeffizient r	54
3.10.2	Bestimmtheitsmaß R^2	55

3.10.3 Ergebnis der Validierung.....	55
3.11 Optimierung.....	55
4 Ergebnisse	61
5 Diskussion.....	65
5.1 Ergebnisinterpretation und Schlussfolgerungen.....	65
5.2 Fehleranalyse, Empfehlungen und Ausblick	66
Anhang A Gebäudepläne	69
A.1 Grundrisse	69
A.2 Schnitte.....	85
A.3 Konstruktionsdetails.....	90
Anhang B Gebäudedaten.....	91
B.1 Detaillierte Auflistung der untersuchten Gebäudetypen.....	91
B.2 Aufbauten und U-Werte der Bauteile	92
B.3 Gebäudehüllflächen.....	99
Anhang C Unterlagen zur Datenerhebung.....	116
C.1 Fragebogen	116
C.2 Interview-Vorlagen.....	120
C.2.1 Gebäude- und personenbezogene Daten	120
C.2.2 Nutzerverhalten je Raum.....	121
Abbildungsverzeichnis	123
Tabellenverzeichnis	127
Literaturverzeichnis	131

1 Einleitung

1.1 Motivation und Ziel der Arbeit

Der Energieausweis eines Gebäudes ist vergleichbar mit dem Typenschein eines Fahrzeuges: Es sind viele interessante Kennwerte darin enthalten, zum Beispiel der Energiebedarf des Gebäudes bzw. der Kraftstoffverbrauch des Fahrzeuges [ENE16]. In beiden Fällen wurden genormte Mess- bzw. Berechnungsverfahren entwickelt und gesetzlich vorgeschrieben, um einen zuverlässigen Vergleich der Verbrauchswerte unterschiedlicher Gebäude bzw. Fahrzeuge zu ermöglichen [ADA16]. Dies bedeutet, dass der ermittelte Normbedarf unter einheitlichen, standardisierten Bedingungen nicht unbedingt den tatsächlichen Verbrauch widerspiegelt.

Zahlreiche Faktoren beeinflussen die Verbrauchswerte von Fahrzeugen und Gebäuden: die Bauweise, die Ausstattung, die (klimatischen) Umgebungsbedingungen – und vor allem die individuelle Nutzung [ADA16]. Die Nutzungsgewohnheiten der Bewohner eines Gebäudes sind mindestens so unterschiedlich wie ihre Fahrstile. Dementsprechend groß sind zum Teil die Abweichungen zwischen den ermittelten und den tatsächlichen Verbrauchswerten – und auch der Unmut der Fahrzeug- bzw. Gebäudenutzer.

Um realitätsnähere Verbrauchsangaben zu erhalten, wird im Fahrzeugbereich bereits an einem neuen Messverfahren gearbeitet [ADA16]. Im Gebäudesektor sind die Planer und Energieberater allerdings nach wie vor mit dem Problem konfrontiert, dass der Energieausweis ungeeignet ist, den tatsächlichen Energieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser individueller Nutzer zu prognostizieren. Die sich im Anhang der EN ISO 13790 [ENI08] befindliche Fehleranalyse des in dieser Norm festgelegten Berechnungsverfahrens für den standardisierten Energieausweis beschreibt diese Problematik deutlich:

„Vor allem, wenn die Berechnungen unter Zugrundelegung von Normwerten zum Nutzerverhalten und zu den Luftvolumenströmen vorgenommen werden, können signifikante Unterschiede zum tatsächlichen gemessenen Energiebedarf auftreten. In der Praxis kann der Energiebedarf durch diese Faktoren um 50 % bis 150 % vom berechneten Mittelwert abweichen (...).“ [ENI08, S. 149]

Die vorliegende Arbeit ging deshalb der Frage nach, ob durch Berücksichtigung der individuellen Nutzung und des realen Außenklimas in einer modifizierten Energiebedarfsberechnung eine bessere Prognose des tatsächlichen Energieverbrauchs erzielt werden kann als mittels des derzeit angewandten, genormten Rechenverfahrens zur Erstellung von Energieausweisen. Der Versuch der Beantwortung dieser Fragestellung erfolgte im Rahmen einer Studie von 35 annähernd baugleichen Kleingartenwohnhäusern. Aufgrund der sehr ähnlichen kon-

struktiven und klimatischen Rahmenbedingungen der inspizierten Gebäude konnte der Einfluss der individuellen Nutzungsbedingungen auf den Energieverbrauch bei diesen Häusern besonders gut untersucht werden.

Um Informationen über das energieverbrauchsbezogene Nutzerverhalten zu erlangen, wurden Fragebögen erstellt und zusätzlich Interviews durchgeführt. Es wurden die Nutzerdemographie, das Lüftungsverhalten, der Warmwasserverbrauch, Stromverbrauchsdaten und Parameter des thermischen Komforts erhoben. Zusätzlich dazu wurden Datenlogger in den Wohnräumen angebracht, um die tatsächliche Innenraumtemperatur zu messen.

Weitere Datenlogger wurden verwendet, um die Außentemperatur in der Kleingartenwohnanlage zu erfassen.

Außerdem wurde die Luftdichtheit der Gebäudehülle durch Blower-Door-Messungen ermittelt, um die Infiltrationsverluste besser abschätzen zu können.

Ziel war, das Berechnungsverfahren des standardisierten Energieausweises derart zu modifizieren, dass alle erhobenen Daten berücksichtigt werden konnten und somit ein Prognosemodell zur Abschätzung des tatsächlichen, individuellen Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser entstand.

1.2 Stand des Wissens

Dieser Abschnitt ist entweder sinngemäß dem Bericht über das internationale Forschungs- und Entwicklungsprojekt mit dem Thema „Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden – Analysen und Evaluierungsmethoden“ [BED14] entnommen oder vollständig zitiert.

Der Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden wird von sechs Faktoren beeinflusst:

- Klima
- Gebäudehülle
- Haustechnik und Energiesysteme
- Gebäudebetrieb und -instandhaltung
- Nutzeraktivitäten und -verhalten
- angestrebte Innenraumluftqualität

Aktuelle Forschungen konzentrieren sich vorwiegend auf die ersten drei Umwelt- und Gebädefaktoren und vernachlässigen die letzten drei, durch das menschliche Verhalten bestimmten Einflussgrößen, obwohl gerade diese enorme Auswirkungen auf den Energieverbrauch in Gebäuden haben können (siehe Abb. 1).

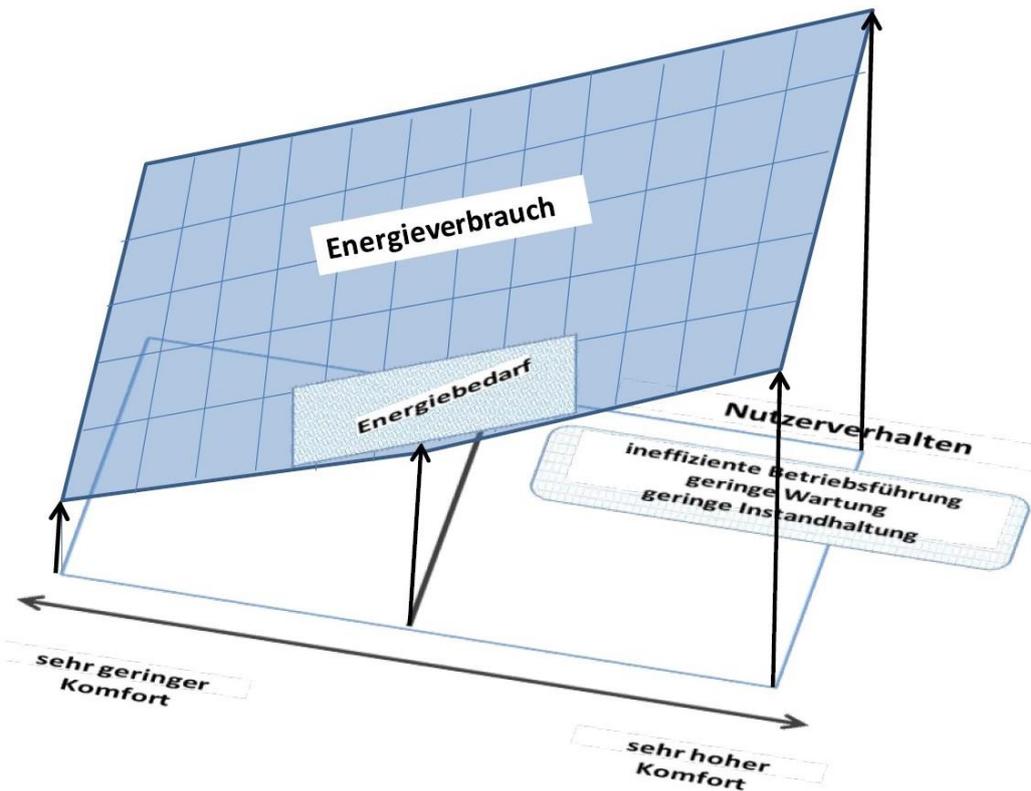


Abb. 1: Differenz zwischen dem Energiebedarf und dem Energieverbrauch [BED14]

Die Internationale Energieagentur führt hingegen ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt mit dem Thema „Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden – Analysen und Evaluierungsmethoden“ durch. Ziel dieser internationalen Forschungskooperation ist die Entwicklung neuer Methoden zur zuverlässigen Prognose des Gesamtenergieverbrauchs in Gebäuden.

Um den Energieverbrauch in Gebäuden richtig zu erfassen und in weiterer Folge vorhersagen zu können, müssen alle sechs Einflussfaktoren genau untersucht werden. Nach eingehender Literaturrecherche ist man zum Ergebnis gekommen, dass bis dato keine Rechenmodelle für den Gesamtenergiebedarf existieren, die alle Einflussfaktoren richtig berücksichtigen. Insbesondere für das Nutzerverhalten gibt es derzeit kein Modell, das die Realität nachbildet. Stattdessen wird eine Standardnutzung angenommen, die in Wirklichkeit selten auftritt und somit unweigerlich zu Diskrepanzen zwischen dem errechneten Energiebedarf und dem tatsächlichen Energieverbrauch führt. Investoren im Bereich Energie fehlen somit Instrumente, um die Energienutzung in Gebäuden real zu beurteilen und das Kosten-Nutzen-Verhältnis von Energieeinsparungsmaßnahmen abzuschätzen.

Studien haben gezeigt, dass der Gebäudeenergieverbrauch durch das Nutzerverhalten um bis zu einem dreifachen Faktor erhöht werden kann [AND09, LAR10]. Andere Studien weisen auf eine zunehmende Bedeutung der Nutzeraktivitäten hin, da die Verbesserung der Effizienz von Gebäudehüllen und Haustechnik den gesamten Energieverbrauch deutlich reduziert [GUE09, HAA98].

Es gibt viele mögliche Faktoren, die die Interaktionen der Nutzer mit Gebäuden beeinflussen können. Ändern sich beispielsweise psychologische, biologische oder soziale Einflüsse, können Nutzer in der gleichen Umgebung verschiedenes Verhalten aufweisen.

Die Abbildung des Nutzerverhaltens ist also sehr komplex und wird deshalb nach wie vor weiter untersucht – wie unter anderem in der vorliegenden Diplomarbeit. Langfristig soll das Nutzerverhalten in die normativen Rechenregeln integriert werden. Derzeit wird unter anderem eine ISO-Norm zum Thema „Energieeffizienz von Gebäuden – Vorstellung des realen Energieverbrauchs von Gebäuden“ entwickelt.

2 Untersuchungsobjekte

2.1 Gebäudetypologie

Die 35 untersuchten Kleingartenwohnhäuser sind Teil einer in den Jahren 2008 und 2009 errichteten Anlage in einem eher ländlichen Raum des Wiener Stadtgebiets (siehe Abb. 2). Sie sind alle in Holzfertigteilbauweise ausgeführt, besitzen die gleiche thermische Gebäudehülle und unterscheiden sich nur hinsichtlich weniger Aspekte.



Abb. 2: Foto der Kleingartenwohnanlage (Quelle aus Datenschutzgründen vorenthalten)

Alle Häuser bestehen aus einem Erd- und einem Obergeschoß, manche sind auch unterkellert. Der Keller ist entweder beheizt oder nicht beheizt.

Die quaderförmigen Häuser sind in der Siedlung systematisch angeordnet, sodass die mit den Belichtungsflächen ausgestatteten Längsseiten entweder in Richtung Norden und Süden oder gen Osten und Westen ausgerichtet sind.

Zusätzlich zur Orientierung unterscheiden sich die Häuser noch durch die Lage des Eingangs und der dadurch leicht veränderten Innenraumorganisation, die auch eine geringfügige Variation in der Fensteranzahl mit sich bringt.

Bezogen auf das äußere Erscheinungsbild der Häuser wird noch zwischen einem Typ mit Putzfassade im EG und Holzfassade im OG und einem Typ mit kompletter Holzverschalung im EG und OG unterschieden (siehe Abb. 3 u. 4).



Abb. 3 u. 4: Fotos der Kleingartenwohnhäuser (Quelle aus Datenschutzgründen vorenthalten)

Die folgende Abbildung zeigt eine graphische Darstellung der beschriebenen Unterscheidungsmerkmale in Form eines Lageplans der Kleingartenwohnanlage. Dem Plan ist auch die exakte Orientierung der Häuser zu entnehmen: Der Nordpfeil weist eine Abweichung von $17,43^\circ$ auf.

Der in Abb. 5 eingetragene Sondertyp fällt nicht unter die 35 untersuchten Häuser der Siedlung und bleibt somit in der weiteren Arbeit unberücksichtigt.

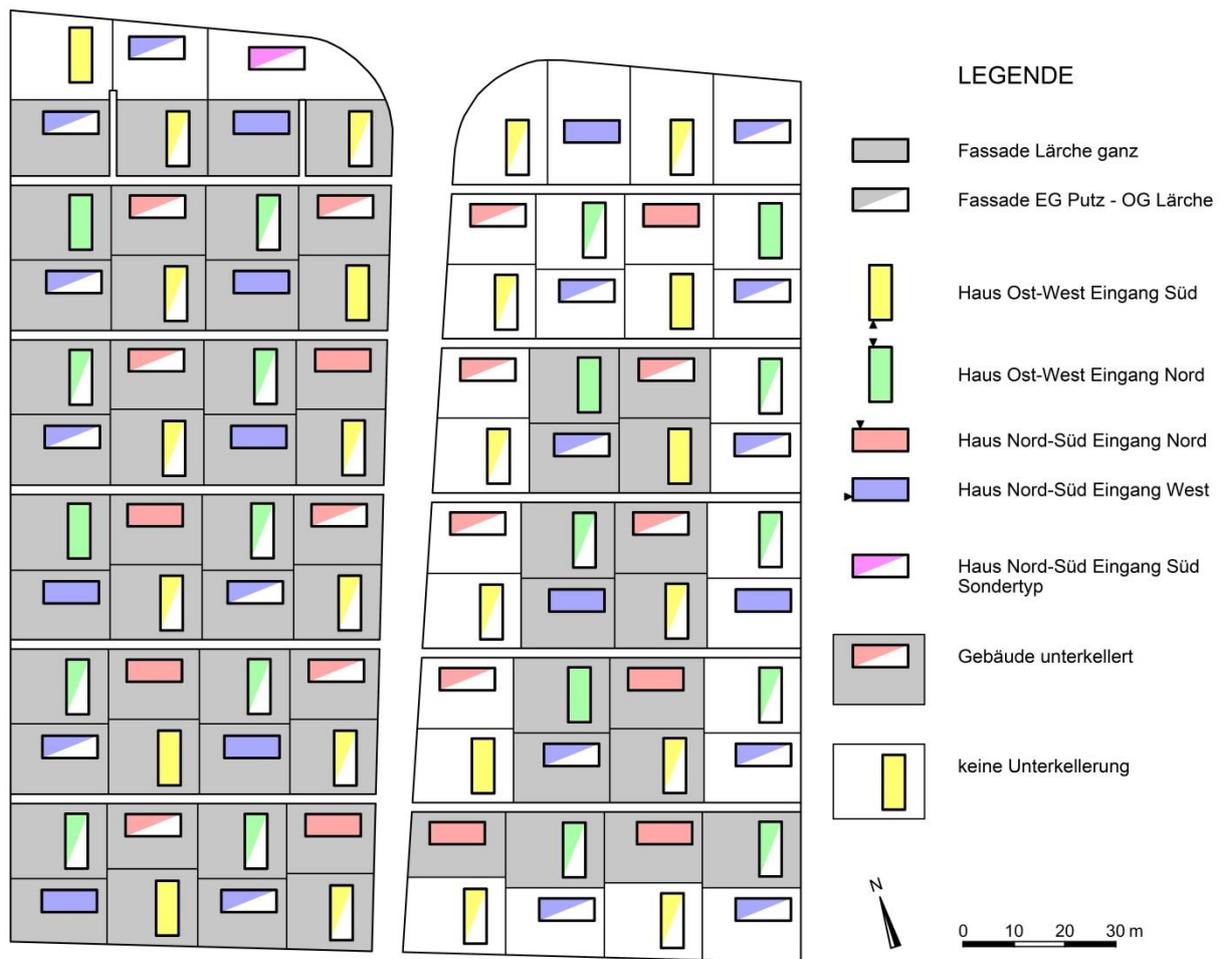


Abb. 5: Lageplan der Kleingartenwohnanlage mit Typenbeschreibung der Häuser (in Anlehnung an den Lageplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

In Tabelle 1 sind die 35 untersuchten Kleingartenwohnhäuser je nach Gebäudetyp und Orientierung aufgelistet.

Tabelle 1: Gebäudetypen und Orientierung der untersuchten Kleingartenwohnhäuser

Gebäudetyp Orientierung	Ohne Keller	Nicht konditionierter Keller	Konditionierter Keller
Nord-Süd	3	8	6
Ost-West	6	8	4

Eine detailliertere Auflistung der untersuchten Gebäudetypen, genaue Pläne der Häuser sowie die Konstruktionsbeschreibungen der Bauteile samt deren U-Werte finden sich in Anhang A und Anhang B.

2.2 Heizsystem und Warmwasseraufbereitung

Die untersuchten Gebäude sind jeweils mit einem Gas-Brennwertkessel ausgestattet, der in einer Wandnische im Vorraum angebracht ist. Diese Heizkessel dienen sowohl der Raumheizung als auch der direkten Trinkwassererwärmung mittels eines integrierten Durchlauferhitzers.

Es handelt sich um das Modell MCR 24/28 MI der Firma De Dietrich. Der Kesselwirkungsgrad bezogen auf den Heizwert H_i des zugeführten Brennstoffes (Erdgas) bei 100% Last und 70 °C mittlerer Kesseltemperatur beträgt laut Technischem Datenblatt 0,983 [DED16].

Die Steuerung der gewünschten Innenraumtemperatur erfolgt über ein Raumthermostat, das im Wohnbereich im Erdgeschoß oberhalb eines Radiators angebracht ist.

3 Methodik

Basierend auf einer umfangreichen Datenerhebung von 35 baugleichen Kleingartenwohnhäusern, ihren Bewohnern und den Klimabedingungen vor Ort wurden die derzeit angewandten Berechnungsmethoden zur Ermittlung des Heizwärme- und Warmwasserenergiebedarfs derart modifiziert, dass die erhobenen Daten betreffend der individuellen Gebäudenutzung und der realen Klimadaten in der Berechnung berücksichtigt werden konnten. Die verwendete Berechnungsmethode war das Monatsbilanzverfahren gemäß EN ISO 13790 [ENI08], wobei 36 Monate bilanziert wurden (Juni 2010 bis Mai 2013). Die Validierung des Prognosemodells wurde durch Vergleich der berechneten mit den realen Energieaufwandsdaten durchgeführt.

Die Entwicklung des Berechnungsmodells erfolgte durch Modifikation und Erweiterung der Microsoft® Excel®-Datei „EFH.xls“, die dem Lehrbuch „Baukonstruktionslehre 4“ beigelegt ist [RIC13, CD-ROM, Vertiefung Kapitel 1].

3.1 Datenerhebung

Im Herbst 2012 wurden Fragebögen an die Bewohner aller 91 Häuser der Kleingartenwohnanlage verteilt. Bei all jenen Haushalten, die sich an der Studie beteiligen wollten und den Fragebogen ausgefüllt retournierten, wurden im Anschluss noch detailliertere Befragungen in Form von Interviews vorgenommen, Datenlogger angebracht und Blower-Door-Messungen durchgeführt.

3.1.1 Fragebogen und Interview

Mittels Fragebögen und Interviews (siehe Anhang C) wurden relevante Daten bezüglich der individuellen Gebäudenutzung erfragt, um alle in der genormten Energiebedarfsberechnung derzeit verwendeten Terme, die das standardisierte Nutzerverhalten abbilden, durch individuelle Nutzerdaten ersetzen zu können.

Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, nicht nur den Status zum Zeitpunkt der Befragung zu erheben, sondern auch alle Änderungen des Nutzerverhaltens während der dreijährigen Beobachtungsperiode zu erfassen.

Die folgende Tabelle zeigt eine Auflistung der erhobenen Daten je Haushalt sowie deren Bezug zur vorliegenden Arbeit.

Tabelle 2: Mittels Fragebögen und Interviews erfasste Daten sowie deren Bezug zur Arbeit

Mittels Fragebögen und Interviews erfasste Daten	Bezug zur Arbeit
Anzahl und Alter der Bewohner sowie die durchschnittliche Dauer ihrer Anwesenheit im Haus (werktags und an Wochenenden)	3.3 Nutzerdemographie 3.6 Innere Wärmegewinne
Anzahl der Urlaubstage innerhalb und außerhalb der Heizsaison	3.3 Nutzerdemographie 3.6 Innere Wärmegewinne
Anzahl und Art der Haustiere	3.3 Nutzerdemographie 3.6 Innere Wärmegewinne
Häufigkeit, Dauer und Art des Fensterlüftens je Geschloß an einem durchschnittlichen Wintertag sowie die Anzahl der pro Lüftungsvorgang geöffneten bzw. gekippten Fenster	3.4 Lüftungswärmeverluste
Hygrostateinstellung des Ventilators im Bad	3.4 Lüftungswärmeverluste
Anzahl und Dauer von Hygienemaßnahmen im Bad je Bewohner	3.4 Lüftungswärmeverluste 3.9 Warmwasserwärmebedarf
Bevorzugte Innenraumtemperatur im Winter	3.7 Innenklima
Heizdauer pro Tag sowie am Raumthermostat eingestellte Absenkttemperatur	3.7 Innenklima
Kochhäufigkeit	3.9 Warmwasserwärmebedarf
Häufigkeit der Verwendung eines Geschirrspülers	3.9 Warmwasserwärmebedarf

Im Zuge der Befragungen wurden auch die Strom- und Gas-Verbrauchswerte der Jahre 2010/11, 2011/12 und 2012/13 erhoben, die den Energieabrechnungen entnommen wurden (siehe Abb. 6 und Abb. 7). Die Stromverbrauchsdaten dienten als Eingangsgröße bei der Berechnung der inneren Gewinne durch elektrische Geräte und künstliche Beleuchtung im Kapitel 3.6.2.1. Die Gasverbrauchswerte wurden zur Validierung des entwickelten Energiebedarfsberechnungsmodells herangezogen (siehe Kapitel 3.10).

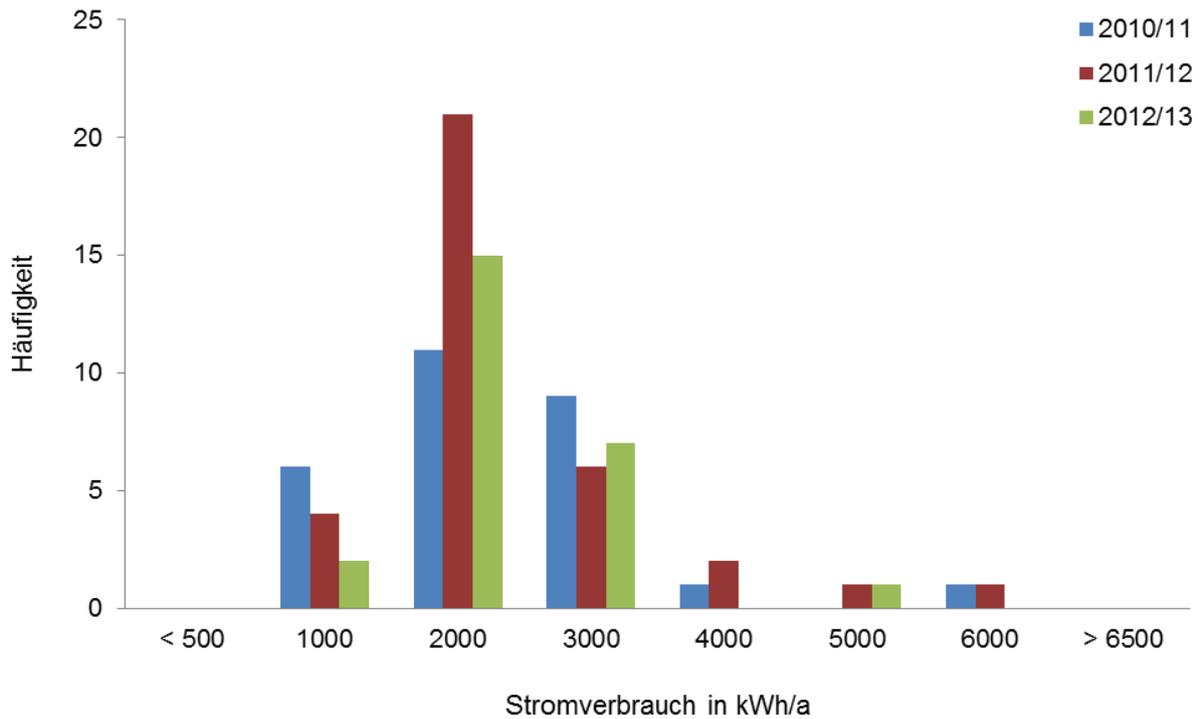


Abb. 6: Histogramm der erhobenen Stromverbrauchsdaten

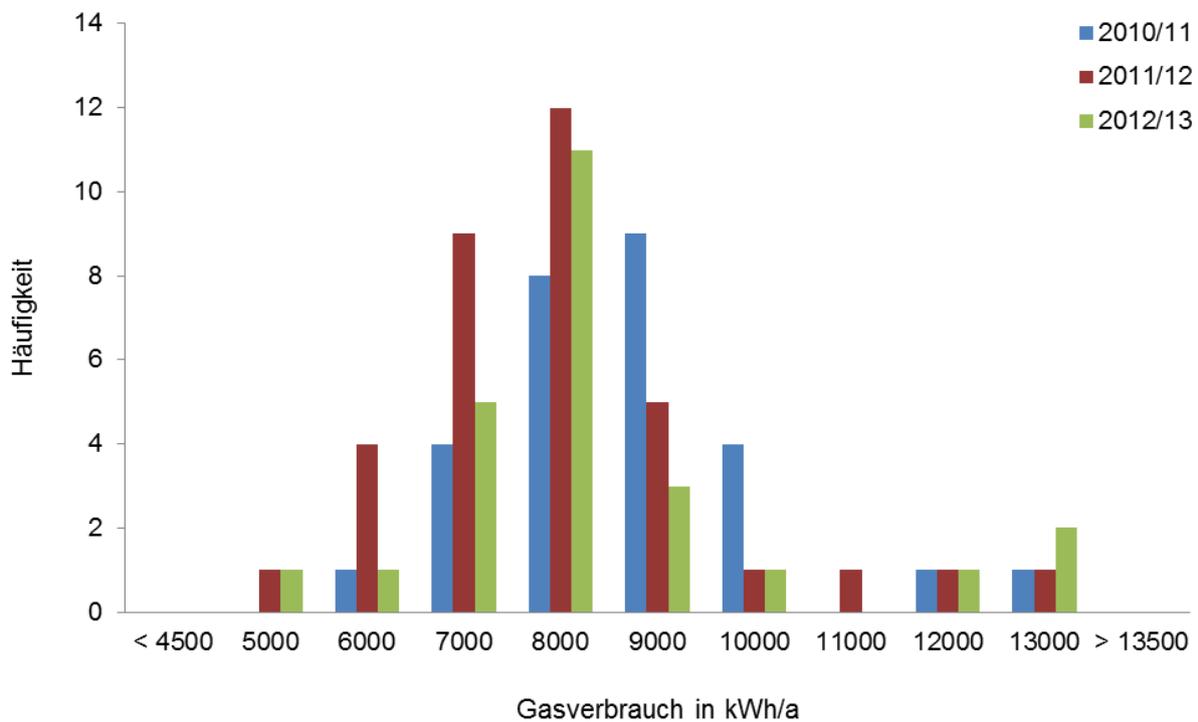


Abb. 7: Histogramm der erhobenen Gasverbrauchsdaten

Im Rahmen der persönlichen Gespräche mit den Bewohnern stellte sich heraus, dass es im August 2010 aufgrund schwerer Unwetter im Osten Österreichs zu Wassereintritten in die Keller mancher Kleingartenwohnhäuser gekommen war. In stärker betroffenen Gebäuden

waren im Anschluss Trocknungsarbeiten mittels elektrisch betriebener Entfeuchtungsgeräte durchgeführt worden. Dank den Aufzeichnungen eines Bewohners konnte der für diese Zwecke verwendete Strom mit 842 kWh veranschlagt werden.

Nachdem der Stromverbrauch im Prognosemodell als Eingangsgröße zur Ermittlung der inneren Wärmegewinne durch elektrische Geräte und künstliche Beleuchtung dient, sollte die Abwärme elektrisch betriebener Geräte außerhalb der konditionierten Zone nicht berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurden die erhobenen Stromverbrauchsdaten des Abrechnungszeitraumes 2010/11 aller Häuser, die einen nicht konditionierten Keller besitzen und in denen Trocknungsarbeiten durchgeführt worden waren, um -842 kWh abgemindert; dies war bei vier untersuchten Gebäuden der Fall.

3.1.2 Datenlogger

Zur Temperaturmessung wurden die digitalen Datenlogger Hobo[®] U12 der Firma Onset Computer Corporation und RTR-53A des Herstellers T&D Corporation verwendet. Die erreichte Messgenauigkeit beträgt beim Modell Hobo U12 $\pm 0,35$ K und beim Modell RTR-53A $\pm 0,3$ K.

3.1.2.1 Innentemperatur

Zur Messung der Innentemperatur wurden während der Heizsaison in 28 der 35 untersuchten Gebäude Datenlogger im Wohnbereich im Erdgeschoß angebracht. Die Messgeräte wurden so platziert, dass sie zu keiner Tageszeit direkter Sonnenbestrahlung ausgesetzt waren.

Mit Ausnahme von zwei Häusern, in welchen die Temperaturonzeichnungen nur ein bzw. zwei Monate möglich waren, wurde der Mittelwert der viertelstündlich gemessenen Raumtemperaturwerte von Dezember 2012 bis März 2013 gebildet (siehe Abb. 8) und als Innentemperatur für die Berechnung herangezogen (siehe Kapitel 3.7.2.1).

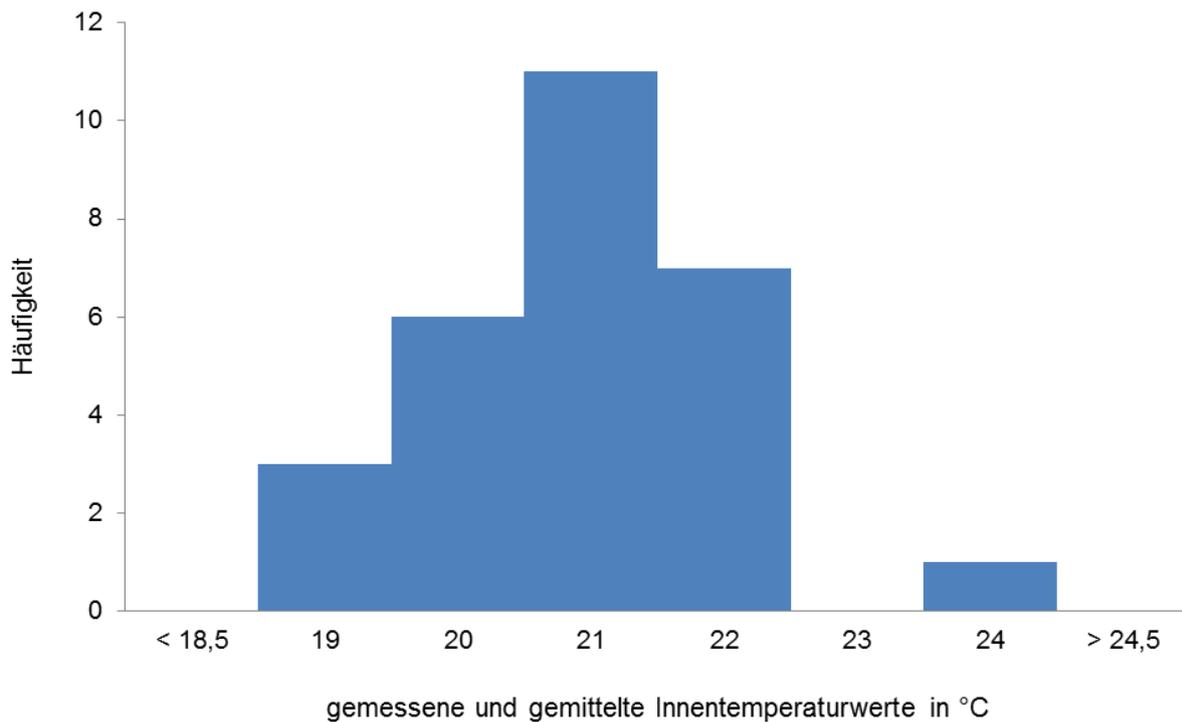


Abb. 8: Histogramm der gemessenen und gemittelten Innentemperaturwerte

3.1.2.2 Außentemperatur

Zur Erfassung der realen Außentemperaturdaten wurden zwei Datenlogger im Außenbereich der Wohnsiedlung angebracht. Die von Dezember 2012 bis Mai 2013 viertelstündlich gemessenen Außentemperaturwerte wurden in Kapitel 3.8.2.1 berücksichtigt.

3.1.3 Gebäudebezogene Daten

Die Grundlage der Ermittlung aller gebäudebezogener Daten lieferten Planunterlagen des Architekten (siehe Anhang A.1 und A.2 – Quelle aus Datenschutzgründen vorenthalten) sowie Konstruktionsbeschreibungen der Holzbaufirma (siehe Anhang A.3 – Quelle aus Datenschutzgründen vorenthalten).

Diesen Unterlagen konnten die Konstruktionsdetails hinsichtlich der Bauteilaufbauten sowie die nötigen Daten zur Ermittlung der konditionierten Bruttogrundfläche, des konditionierten Bruttovolumens sowie der Flächenermittlung der Gebäudehülle entnommen werden. Sie stellten somit die Basis der Berechnung der Transmissionswärmeverluste in Kapitel 3.5 dar.

Tabelle 3 zeigt eine Zusammenstellung der wichtigsten Gebäudekennwerte.

Die charakteristische Länge, ein Maß für die Gebäudekompaktheit, wird mittels Division des konditionierten Bruttovolumens durch die Oberfläche des konditionierten Bruttovolumens errechnet.

Die detaillierte Aufstellung der Hüllflächen des konditionierten Bruttovolumens je untersuchten Gebäudetyp ist den Tabellen in Anhang B.3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Wichtige Gebäudekennwerte je Gebäudetyp

Gebäudetyp	konditionierte Bruttogrund- fläche in m ²	konditioniertes Bruttovolumen in m ³	konditioniertes Nettovolumen in m ³	Hüllfläche des konditionierten Bruttovolumens in m ²	charakteristische Länge in m
Haus ohne Keller Fassade Lärche ganz	101,99	284,43	195,31	278,45	1,02
Haus ohne Keller Fassade EG Putz OG Lärche	101,68	283,56	195,31	278,45	1,02
Haus mit nicht konditioniertem Keller Fassade Lärche ganz	98,95	267,59	192,29	284,46	0,94
Haus mit nicht konditioniertem Keller Fassade EG Putz OG Lärche	98,65	266,85	192,29	284,46	0,94
Haus mit konditioniertem Keller Fassade Lärche ganz	153,93	388,56	274,70	339,54	1,14
Haus mit konditioniertem Keller Fassade EG Putz OG Lärche	153,62	387,86	274,70	339,54	1,14

3.1.4 Blower-Door-Messungen

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wurde in 32 der 35 Kleingartenwohnhäuser durch Blower-Door-Tests ermittelt. Die Messungen wurden im Rahmen der Diplomarbeit „Entwicklung einer statistischen Methode für die Ermittlung der erforderlichen Stichprobengröße zur Qualitätssicherung der Luftdichtheit von Gebäuden“ von Martin Zingerle [ZIN13] durchgeführt. Die detaillierte Beschreibung dieser Prüfverfahren ist der eben zitierten Arbeit zu entnehmen.

Die durch diese Messungen ermittelten Werte (siehe Abb. 9) unterschreiten den laut OIB-Richtlinie 6 [OIB15] für die untersuchten Gebäude geforderten Grenzwert von 3 deutlich und dienen als Grundlage zur Ermittlung der Infiltrationsverluste in Kapitel 3.4.2.1.

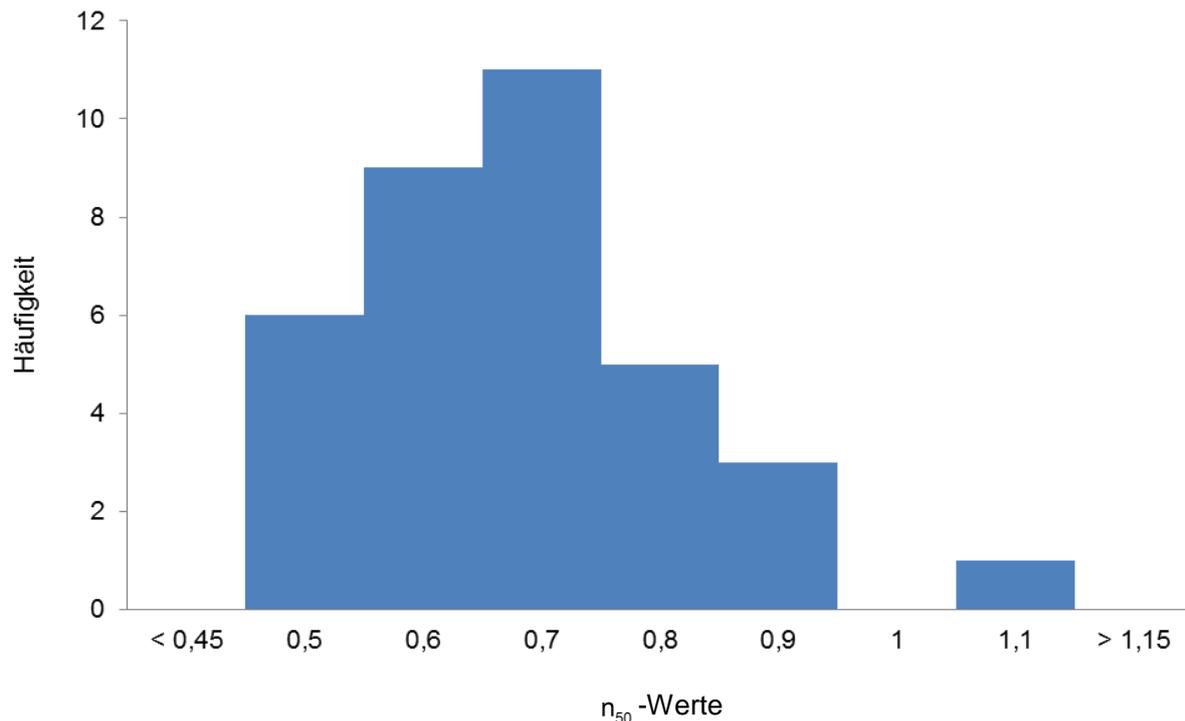


Abb. 9: Histogramm der ermittelten n_{50} -Werte

3.2 Allgemeine Berechnungsgrundlagen

3.2.1 Rechtliche Vorschriften

Die Umsetzung der Richtlinien 2002/91/EG und 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erfolgte in Österreich durch die OIB-Richtlinie 6 und durch das Energieausweis-Vorlage-Gesetz (EAVG) [OIB14, S. 4]. Gemäß EAVG [EAV12, § 2 Abs. 3] ist ein Energieausweis ein Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, der der OIB-Richtlinie 6 zu entsprechen hat. Die OIB-Richtlinie 6 definiert die Anforderungen an die thermisch-energetische Qualität von Gebäuden, die primär durch Energiekennzahlen ausgedrückt werden [OIB14, S. 8]. Außerdem legt die OIB-Richtlinie 6 die Ermittlung dieser Kennzahlen auf Basis von ÖNORMen fest [ERL15, S. 4]. Als Grundlage dafür dienen die Normenserien ÖNORM B 8110 und ÖNORM H 5050ff [OIB14, S. 18]. Die ÖNORM B 8110-6 regelt die Berechnungsmethode des Heizwärme- und Kühlbedarfs in Anlehnung an EN ISO 13790 [OIB14, S. 18]. Die europäische Norm EN ISO 13790 unterstützt die grundlegenden Anforderungen der Gesamtenergieeffizienz-Richtlinien und dient zur europäischen Harmonisierung der Verfahrensweise zur Berechnung der Energieeffizienz von Gebäuden [ENI08, S. 7].

3.2.2 Berechnungsmethodik

Wie in Kapitel 3.2.1 erläutert, bilden gemäß OIB-Richtlinie 6 [OIB15 bzw. LEI15] die ÖNORM B 8110-6 und die EN ISO 13790 die Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung von Energiekennzahlen für Energieausweise in Österreich; auf ihnen basieren auch die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit.

Konkret erfolgten sie anhand des Monatsbilanzverfahrens, ein quasi-stationäres Verfahren, das die Wärmebilanz für ausreichend große Zeiträume (in diesem Fall ein Monat) berechnet, wobei dynamische Auswirkungen durch einen empirisch bestimmten Ausnutzungsgrad der Einträge und Verluste berücksichtigt werden [ENI08, S. 24]. Durch Aufsummieren der monatlichen Beträge wird die benötigte Energiemenge über einen Zeitraum von einem Jahr berechnet.

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Bilanzierung über eine Periode von 36 Monaten, um zeitliche Varianzen im Außenklima und Nutzerverhalten zu mitteln; deshalb wurde die Endsumme durch drei dividiert, um als Ergebnis wieder einen jährlichen Energiebedarfswert zu erhalten.

Das Standortklima, ein synthetisch erzeugter Klimadatensatz je Temperaturregion und Höhenlage, und das Nutzungsprofil sind gemäß OIB-Richtlinie 6 [OIB15 bzw. LEI15] der ÖNORM B 8110-5 zu entnehmen. In diesen Punkten weicht die vorliegende Arbeit grundlegend von den rechtlichen Vorschriften ab, da die diversen Eingangsparameter zur Beschreibung des Nutzerverhaltens und des Klimas auf der unter Punkt 3.1 beschriebenen Datenerhebung basieren. Tabelle 4 zeigt eine Gegenüberstellung der verschiedenen Eingangsdaten der standardisierten Energiebedarfsberechnung gemäß den geltenden rechtlichen Vorschriften und der in der vorliegenden Arbeit präsentierten, an die individuellen Nutzungsbedingungen und Klimadaten angepassten Energiebedarfsberechnung.

Tabelle 4: Vergleich der Eingangsdaten der standardisierten Energiebedarfsberechnung gemäß den rechtlichen Vorschriften in Österreich und der an die Nutzungsbedingungen angepassten Energiebedarfsberechnung der vorliegenden Arbeit

Berechnungsgrundlagen	standardisierte Energiebedarfsberechnung	adaptierte Energiebedarfsberechnung
Infiltrations- und Lüftungsverluste	$n_{FL} = 0,4 \text{ h}^{-1}$	Ermittlung der Luftwechselrate durch Berücksichtigung der Lüftungsgewohnheiten der Bewohner, der Hygrostateinstellung des Ventilators im Bad sowie der Blower-Door-Messungen (siehe 3.4.2)
innere Gewinne	$q_i = 3,75 \text{ W/m}^2$	Ermittlung der Wärmeabgabe durch Lebewesen und elektrische Geräte durch gemessenen Haushaltsstromverbrauch und unter Berücksichtigung der Anwesenheit und Anzahl von Personen und Haustieren (siehe 3.6.2)
Innenklima	20°C	ermitteltes Innenklima durch Messung und Befragung unter Berücksichtigung von Nachtabsenkung und Anwesenheit der Bewohner (siehe 3.7.2)
Außenklima	Standortklima laut ÖNORM B 8110-5 [ÖNO11a]	gemessenes, reales Klima (siehe 3.8.2) (Daten von 3 Jahren)
Warmwasserwärmebedarf	$wwwb = 35 \text{ Wh/m}^2\text{d}$	gemäß Datenerhebung berechnet (siehe 3.9.2)

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, dient in den untersuchten Gebäuden ein Gasbrennwertkessel zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung. Außerdem erfolgte die Validierung des entwickelten Prognosemodells anhand der erhobenen Gasverbrauchsdaten. Aus diesen Gründen musste das präsentierte Berechnungsverfahren den Energiebedarf für Heizung und Warmwasser ermitteln. Aufgrund der in Kapitel 3.2.1 beschriebenen rechtlichen Grundlagen waren somit gemäß OIB-Richtlinie 6 [OIB15 bzw. LEI15] einerseits die ÖNORM B 8110-6 und die EN ISO 13790 zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs anzuwenden und andererseits die ÖNORM H 5056 zur Berechnung des Warmwasserwärmebedarfs.

Bis auf die in Tabelle 4 angeführten und in den Kapiteln 3.3 bis 3.9 detailliert beschriebenen Abweichungen erfolgte die Ermittlung des Heizwärmebedarfs in der vorliegenden Arbeit gemäß ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] bzw. EN ISO 13790 [ENI08], wobei die untersuchten Gebäude jeweils als eine Zone betrachtet wurden. Der offene Treppenabgang zum unbeheizten Keller wurde detailliert gemäß ÖNORM B 8110-6 Kapitel 4 [ÖNO14, S. 7f.] eingegeben.

Die Ermittlung des Warmwasserwärmebedarfs erfolgte in der adaptierten Energiebedarfsberechnung abweichend von ÖNORM H 5056 [ÖNO11b] (siehe Kapitel 3.9.2).

Die Berücksichtigung aller Anlagenverluste im Bereich Raumheizung und Warmwasser (Abgabe-, Verteilungs-, Speicher- und Bereitstellungsverluste) erfolgte durch eine Energieaufwandszahl (siehe Formel (1)) in Anlehnung an ÖNORM H 5056 [ÖNO11b]. Aus den folgenden Gründen wurden diese Systemverluste nur sehr vereinfacht berücksichtigt:

- Die Therme und alle Verteilleitungen zu den Radiatoren befinden sich bei allen Gebäudetypen in der konditionierten Zone. Die Kesselabwärme und die Verteilverluste decken somit einen Teil des Heizwärmebedarfs.
- Aufgrund der kompakten Anordnung von Küche, Bad und WC in den Räumen unmittelbar neben bzw. über dem Thermenaufstellungsort ist die Länge der Warmwasserleitungen sehr kurz. Außerdem befindet sich auch dieses Leitungssystem bei allen Gebäudetypen ausschließlich in der konditionierten Zone. Die Verteilverluste im Bereich Warmwasser sind demnach sehr gering und stellen ebenfalls einen Wärmegewinn in der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs dar.
- Das Trinkwasser wird mittels Durchlauferhitzer erwärmt. Es gibt demnach keinen Warmwasserspeicher und somit auch keine Verluste im Bereich der Wärmespeicherung.

Das Ergebnis des standardisierten und des adaptierten Verfahrens zur Ermittlung des jährlichen Energiebedarfs für Heizung und Warmwasser wurde deshalb wie folgt ermittelt:

$$Q_{\text{HEB}} = (Q_{\text{h}} + Q_{\text{tw}}) \cdot e_{\text{AWZ,Gas}} \quad (1)$$

Q_{HEB} jährlicher Heizenergiebedarf in kWh/Jahr

Q_{h} jährlicher Heizwärmebedarf in kWh/Jahr

Q_{tw} jährlicher Warmwasserwärmebedarf in kWh/Jahr

$e_{\text{AWZ,Gas}}$ Energieaufwandszahl für Erdgas

Die Energieaufwandszahl berücksichtigt also alle Anlagenverluste in den Bereichen Warmwasser und Raumheizung und wurde für jedes untersuchte Gebäude ident angenommen. Dieser Ansatz war vertretbar, da die Studienobjekte mit derselben Haustechnik ausgestattet und trotz unterschiedlicher Gebäudetypen prinzipiell baugleich ausgeführt sind. Bei den vorliegenden unterschiedlichen Verbräuchen (siehe Abb. 7 in Kapitel 3.1.1) und Gebäudekompaktheiten (siehe charakteristische Längen laut Tabelle 3 in Kapitel 3.1.3) wurde den untersuchten Häusern eine gleiche Anlageneffizienz unterstellt.

In der standardisierten Energiebedarfsberechnung dieser Arbeit wurde die Energieaufwandszahl dem Kehrwert des Kesselwirkungsgrades (siehe Kapitel 2.2) gleichgesetzt und beträgt somit 1,017.

In der adaptierten Energiebedarfsberechnung wurde die Energieaufwandszahl als Parameter

für die spätere Optimierung angenommen und nach den in Kapitel 3.11 beschriebenen Kriterien angepasst.

3.3 Nutzerdemographie

3.3.1 Personengruppen

Die Bewohner wurden in jene der folgenden Personengruppen eingeteilt, die dem mittleren Alter der Person während der dreijährigen Beobachtungsperiode vom 1.6.2010 bis zum 31.5.2013 am ehesten entsprach:

Tabelle 5: Einteilung der Personengruppen nach Alter

Personengruppe	Alter in Jahren	mittleres Alter in Jahren
Erwachsener	> 15	> 15
Kind > 10 Jahre	10 – 15	12,5
Kind < 10 Jahre	1 – 10	5,5
Baby	0 – 1	0,5

3.3.2 Personenanzahl

Die Personenanzahl n_{Pers} beschreibt die Summe aller in einem Haushalt lebenden Personen der Personengruppen Erwachsener, Kind > 10 Jahre und Kind < 10 Jahre, die mehr als die Hälfte des dreijährigen Untersuchungszeitraumes im jeweiligen Haushalt wohnten.

Die gesamte Personenanzahl $n_{\text{Pers.ges.}}$ umfasst die Summe aller in einem Haushalt lebenden Personen aller Personengruppen, die während der Betrachtungsperiode im jeweiligen Haushalt wohnten.

Nachdem die Personenanzahl während des Beobachtungszeitraumes nicht immer konstant war, beschreibt \bar{n}_{Pers} die durchschnittliche Anzahl an Personen eines Haushaltes während der dreijährigen Untersuchungsperiode.

Zur Ermittlung wurde je Person eines Haushaltes die Dauer ihrer Anwesenheit während des dreijährigen Betrachtungszeitraumes auf ganze Monate gerundet und durch die Beobachtungsperiode von 36 Monaten dividiert; im Anschluss wurde pro Haushalt aufsummiert. Im Unterschied zu den oben angeführten Personenanzahlen n_{Pers} und $n_{\text{Pers.ges.}}$ beschränkt sich die durchschnittliche Personenanzahl \bar{n}_{Pers} somit nicht auf natürliche Zahlen.

$$\bar{n}_{\text{Pers}} = \sum_{k=1}^{n_{\text{Pers.ges.}}} \frac{\tau_{\text{Pers},k}}{36} \quad (2)$$

- \bar{n}_{Pers} durchschnittliche Personenanzahl
- $n_{\text{Pers.ges.}}$ gesamte Personenanzahl
- τ_{Pers} Anwesenheit einer Person in Monaten/Jahr

3.3.3 Anwesenheit

3.3.3.1 Urlaub

Urlaube blieben bei der Ermittlung der durchschnittlichen Anwesenheitszeit unberücksichtigt, da diese in der Berechnung mittels Monatsbilanzverfahren als ganze Tage abgezogen wurden: Winterurlaube wurden jedes Jahr im Jänner berücksichtigt, Sommerurlaube wurden jährlich jeweils zur Hälfte in den Monaten Juli und August abgezogen; d. h. die Nutzungstage dieser Monate verringerten sich um die Anzahl der Urlaubstage. Bei fehlenden Urlaubsangaben in der Datenerhebung wurden die Werte für die durchschnittliche Dauer des Sommerurlaubs $\bar{\tau}_{\text{Url.So}}$ bzw. des Winterurlaubs $\bar{\tau}_{\text{Url.Wi}}$ laut folgender Tabelle angenommen und flossen später als Parameter in den Optimierungsprozess ein:

Tabelle 6: Durchschnittliche Urlaubsdauer je Urlaubsart

Urlaubsart	$\bar{\tau}_{\text{Url.}}$ in Tagen
Sommerurlaub	7
Winterurlaub	7

3.3.3.2 Personenanwesenheit

Die Anwesenheit der Personen in Stunden pro Tag wurde über den dreijährigen Vergleichszeitraum gemittelt. Die Daten zur Ermittlung der durchschnittlichen Personenanwesenheit $\bar{\tau}_{\text{Pers}}$ wurden prinzipiell den Interviews entnommen. War dies nicht möglich, so wurde die durchschnittliche Anwesenheit einer Person aufgrund ihres Alters und ihrer Beschäftigung nach folgender Tabelle festgesetzt:

Tabelle 7: Durchschnittliche Personenanwesenheit je nach Personenalter bzw. Beschäftigung

Personenalter bzw. Beschäftigung	$\bar{\tau}_{\text{Pers}}$ in h/Tag
Erwachsener Vollzeit	12
Erwachsener Teilzeit	18
Erwachsener Karenz	23
Kind > 10 Jahre	14
Kind < 10 Jahre	18
Baby	23

Der Wert für die durchschnittliche Anwesenheitszeit vollzeitbeschäftigter Erwachsener wurde der Tabelle G.12 der EN ISO 13790 [ENI08, S. 143] entnommen. Die Werte für Teilzeitbeschäftigte sowie Kinder entstammen dem Paper "Prediction of indoor climate based on questionnaires" [HAR14] unter Punkt 5.1.

Gestützt auf Interviews mit karenzierten Personen, wurde bei Erwachsenen in Karenz sowie Babys angenommen, dass sich diese Personen bis auf wenige Ausnahmen (wie Besorgungen, Arztbesuche und Spaziergänge) vorwiegend zu Hause aufhalten. Somit erschien eine durchschnittliche Anwesenheitszeit von 23 Stunden pro Tag angemessen.

Die durchschnittliche Personenanwesenheit aller Personen eines Haushaltes wurde gemäß Formel (3) berechnet.

$$\bar{\tau}_{\text{Pers.ges.}} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{\text{Pers.ges.}}} \bar{\tau}_{\text{Pers,k}}}{n_{\text{Pers}}} \quad (3)$$

$\bar{\tau}_{\text{Pers.ges.}}$ durchschnittliche Anwesenheitszeit aller Personen eines Haushaltes
in h/Tag/Person

$n_{\text{Pers.ges.}}$ gesamte Personenanzahl laut Kapitel 3.3.2

$\bar{\tau}_{\text{Pers}}$ durchschnittliche Anwesenheit einer Person in h/Tag

n_{Pers} Personenanzahl laut Kapitel 3.3.2

Um das arithmetische Mittel korrekt zu bilden, hätte in Formel (3) durch $n_{\text{Pers.ges.}}$ dividiert werden müssen. Da dies aber die tatsächliche durchschnittliche Anwesenheitszeit der Bewohner, die unter n_{Pers} fallen, in einem deutlich größeren Ausmaß verfälscht hätte, wurden die Anwesenheitszeiten von Personen, die weniger als die Hälfte der Beobachtungsperiode im Haushalt wohnten, zwar mitberücksichtigt, allerdings wurde durch n_{Pers} dividiert.

Die maximale durchschnittliche Anwesenheit einer Person $\bar{\tau}_{\text{Pers.max.}}$ beschreibt den höchsten Wert der durchschnittlichen Anwesenheitszeiten der Personen eines Haushaltes und wird zur Berechnung der Heizdauer in Kapitel 3.7.2.2 verwendet.

3.3.3.3 Haustieranwesenheit

Die Anwesenheit von gleichwarmen Haustieren in h/Tag wurde analog zur Personenanwesenheit über den dreijährigen Vergleichszeitraum gemittelt. Sofern die Bewohner in der Befragung nichts Anderes angaben, wurde die durchschnittliche Anwesenheit der gleichwarmen Haustiere $\bar{\tau}_{\text{Ht,gw}}$ laut Tabelle 8 festgesetzt. Die Werte basieren auf der Überlegung, dass sich Katzen fast ausschließlich nur innerhalb der Wohnung aufhalten, Hunde hingegen aber mehrmals täglich spazieren geführt werden.

Tabelle 8: Durchschnittliche Anwesenheit von gleichwarmen Haustieren je Tierart

Tierart	$\bar{\tau}_{\text{Ht,gw}}$ in h/Tag
Hund	23
Katze	24

Wechselwarme Haustiere wurden nur indirekt bei der Berechnung der inneren Wärmegewinne in Kapitel 3.6.2.3 berücksichtigt.

3.4 Lüftungswärmeverluste

3.4.1 Lüftungswärmeverluste in der standardisierten Energiebedarfsberechnung

Die monatlichen Lüftungswärmeverluste Q_v sind laut ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] gemäß Formel (4) zu berechnen.

$$Q_V = \frac{1}{1000} \cdot L_V \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad (4)$$

Q_V	monatliche Lüftungswärmeverluste in kWh/M
L_V	Lüftungsleitwert in W/K
ϑ_i	mittlere Innentemperatur in °C
ϑ_e	mittlere Außentemperatur in °C
t	Dauer des jeweiligen Monats in h/M

Die Ermittlung des Lüftungsleitwertes erfolgt auf Basis der ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] gemäß Formel (5):

$$L_V = 0,34 \cdot \dot{V} \quad (5)$$

L_V	Lüftungsleitwert in W/K
0,34	volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit von Luft in Wh/m ³ K
\dot{V}	Volumenstrom in m ³ /h

Der Faktor 0,34 ergibt sich aus Multiplikation der spezifischen Wärmekapazität von Luft ($c_{\text{Luft}} \approx 1000 \text{ J/kgK}$) mit der Dichte von Luft ($\rho_{\text{Luft}} = 1,23 \text{ kg/m}^3$) sowie der Umrechnung von Sekunden (1 J = 1 Ws) auf Stunden (Wh) [RIC13, S. 15].

Laut ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] wird bei natürlicher Lüftung der zur Berechnung des Lüftungsleitwertes relevante Volumenstrom durch Multiplikation eines fiktiven Lüftungsvolumens mit einer Luftwechselrate ermittelt:

$$\dot{V} = V_V \cdot n_{\text{FL}} \quad (6)$$

\dot{V}	Volumenstrom in m ³ /h
V_V	fiktives Lüftungsvolumen in m ³
n_{FL}	Luftwechselrate bei Fensterlüftung in 1/h

Laut ÖNORM B 8110-5 [ÖNO11a] beträgt die Luftwechselrate bei Fensterlüftung für Einfamilienhäuser 0,4 h⁻¹.

Das fiktive Lüftungsvolumen ist in der ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] gemäß Formel (7) definiert.

$$V_v = \text{BGF} \cdot 0,8 \cdot 2,6 \quad (7)$$

V_v fiktives Lüftungsvolumen in m^3

BGF konditionierte Bruttogrundfläche in m^2

Bei der standardisierten Energiebedarfsberechnung werden die Wärmeverluste durch Infiltration nicht separat berücksichtigt, sofern das Wohngebäude natürlich belüftet wird.

3.4.2 Lüftungswärmeverluste in der adaptierten Energiebedarfsberechnung

Die Lüftungswärmeverluste wurden in der adaptierten Energiebedarfsberechnung ebenfalls gemäß Formel (4) berechnet. Die Ermittlung des Lüftungsleitwertes erfolgte auf Basis der Formel (5).

Unter der Berücksichtigung, dass der Luftaustausch zwischen Innen- und Außenluft über Infiltration, Fensterlüftung sowie über mechanische Lüftungsanlagen erfolgt, wurde der Luftvolumenstrom für jede Art separat und ohne Verwendung festgelegter Nutzungsprofile ermittelt.

Zudem wurde in der Berechnung die Fensterlüftung in Öffnen und Kippen aufgespalten und die mechanischen Lüftungsanlagen wurden in die beiden, in den Untersuchungsobjekten vorhandenen, Ventilatoren unterteilt.

Des Weiteren wurden Faktoren zur späteren Optimierung in die Formel eingefügt. Der Faktor $f_{\text{Lüftung}}$ bezieht sich auf die gesamte Lüftungsleitwert-Berechnung, die anderen Faktoren betreffen nur die einzelnen Teilgebiete der Berechnung mit Ausnahme der Infiltration. Da Blower-Door-Messungen durchgeführt wurden und der Luftdichtheitswert der Gebäude somit exakt bestimmt wurde, wurde kein Optimierungsfaktor für den Infiltrationsluftwechsel gesetzt.

$$L_V = f_{\text{Lüftung}} \cdot 0,34 \cdot \left(\dot{V}_{\text{Infiltration}} + f_{\text{Öffnen}} \cdot \dot{V}_{\text{Öffnen}} + f_{\text{Kippen}} \cdot \dot{V}_{\text{Kippen}} + \right. \\ \left. + f_{\text{Ventilator,Bad}} \cdot \dot{V}_{\text{Ventilator,Bad,eff}} + f_{\text{Ventilator,WC}} \cdot \dot{V}_{\text{Ventilator,WC,eff}} \right) \quad (8)$$

L_V	Lüftungsleitwert in W/K
$f_{\text{Lüftung}}$	Faktor Lüftung
0,34	volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit von Luft in Wh/m ³ K
$\dot{V}_{\text{Infiltration}}$	Luftvolumenstrom durch Infiltration in m ³ /h
$f_{\text{Öffnen}}$	Faktor Fensteröffnen
$\dot{V}_{\text{Öffnen}}$	Luftvolumenstrom durch Fensteröffnen in m ³ /h
f_{Kippen}	Faktor Fensterkippen
\dot{V}_{Kippen}	Luftvolumenstrom durch Fensterkippen in m ³ /h
$f_{\text{Ventilator,Bad}}$	Faktor Ventilator im Bad
$\dot{V}_{\text{Ventilator,Bad,eff}}$	effektiver Luftvolumenstrom des Ventilators im Bad in m ³ /h
$f_{\text{Ventilator,WC}}$	Faktor Ventilator im WC
$\dot{V}_{\text{Ventilator,WC,eff}}$	effektiver Luftvolumenstrom des Ventilators im WC in m ³ /h

3.4.2.1 Infiltration

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wurde in 32 der 35 untersuchten Kleingartenwohnhäuser durch Blower-Door-Tests ermittelt.

Der dabei gemessene Luftvolumenstrom bei 50 Pa Druckunterschied wurde durch das Gebäudeluftvolumen dividiert, um den n_{50} -Wert, also die Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz, zu erhalten [RIC13, S. 53].

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad (9)$$

n_{50}	Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz zwischen innen und außen in 1/h
\dot{V}_{50}	Luftvolumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz zwischen innen und außen in m ³ /h
V	Gebäudeluftvolumen in m ³

Obwohl in der nachfolgenden Formel der n_{50} -Wert wieder mit dem Gebäudeluftvolumen multipliziert wurde, war dieser Zwischenschritt zur Bestimmung der Luftwechselrate nötig. Auf diese Weise war ein Vergleich aller Häuser (mit und ohne Keller) möglich, da der ge-

gemessene Volumenstrom in ein Verhältnis zum Gebäudeluftvolumen gesetzt wurde. Somit konnte der Mittelwert aller n_{50} -Werte gebildet und in der Berechnung der drei Häuser verwendet werden, in denen keine Blower-Door-Tests durchgeführt werden konnten.

Prinzipiell zeigten die Blower-Door-Messungen eine relativ hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle: Die n_{50} -Werte lagen zwischen $0,45 \text{ h}^{-1}$ und $1,10 \text{ h}^{-1}$ (siehe Abb. 9 in Kapitel 3.1.4).

Um den Infiltrationsluftwechsel zu berechnen, wurde der n_{50} -Wert mit dem Gebäudeluftvolumen sowie mit dem Koeffizienten für die Windabschirmung multipliziert [RIC13, CD-ROM, Vertiefung Kapitel 1: Wind- und auftriebsinduzierte Durchströmung von Gebäuden].

$$\dot{V}_{\text{Infiltration}} = n_{50} \cdot V \cdot e \quad (10)$$

$\dot{V}_{\text{Infiltration}}$ Luftvolumenstrom durch Infiltration in m^3/h

n_{50} Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz zwischen innen und außen in $1/\text{h}$

V Gebäudeluftvolumen in m^3

e Windabschirmungskoeffizient

Der Windabschirmungskoeffizient e wird durch die Gebäudeumgebung bestimmt und ist in der EN ISO 13789 [ENI07b] für Gebäude mit mehr als einer exponierten Fassade folgendermaßen kategorisiert:

Tabelle 9: Klassifikation des Windabschirmungskoeffizienten e laut EN ISO 13789 [ENI07b]

Abschirmungsklasse	Beschreibung	Koeffizient e
Keine Abschirmung	Gebäude auf dem offenen Land, hohe Gebäude in Stadtzentren	0,10
Gemäßigte Abschirmung	Gebäude auf dem Land, von Bäumen oder anderen Gebäuden umgeben, Vororte	0,07
Starke Abschirmung	Gebäude mittlerer Höhe in Stadtzentren, Gebäude in Wäldern	0,04

Die untersuchte Kleingartenwohnanlage fällt in die Kategorie „Gemäßigte Abschirmung“; somit betrug der Wert des Windabschirmungskoeffizienten 0,07.

3.4.2.2 Fensterlüftung

In den untersuchten Kleingartenwohnhäusern findet sich pro Geschöß jeweils ein Fenstertyp, der sowohl öffnen- als auch kippbar ist:

Tabelle 10: Fenstertypen

Fenstertyp	lichte Breite in m	lichte Höhe in m
KG	0,80	0,50
EG	0,80	2,00
OG	0,80	0,96

Die Berechnung der Fläche der Lüftungsöffnung bei geöffnetem bzw. gekipptem Fenster erfolgte laut ÖNORM B 8110-3 [ÖNO12] (siehe Abb. 10).

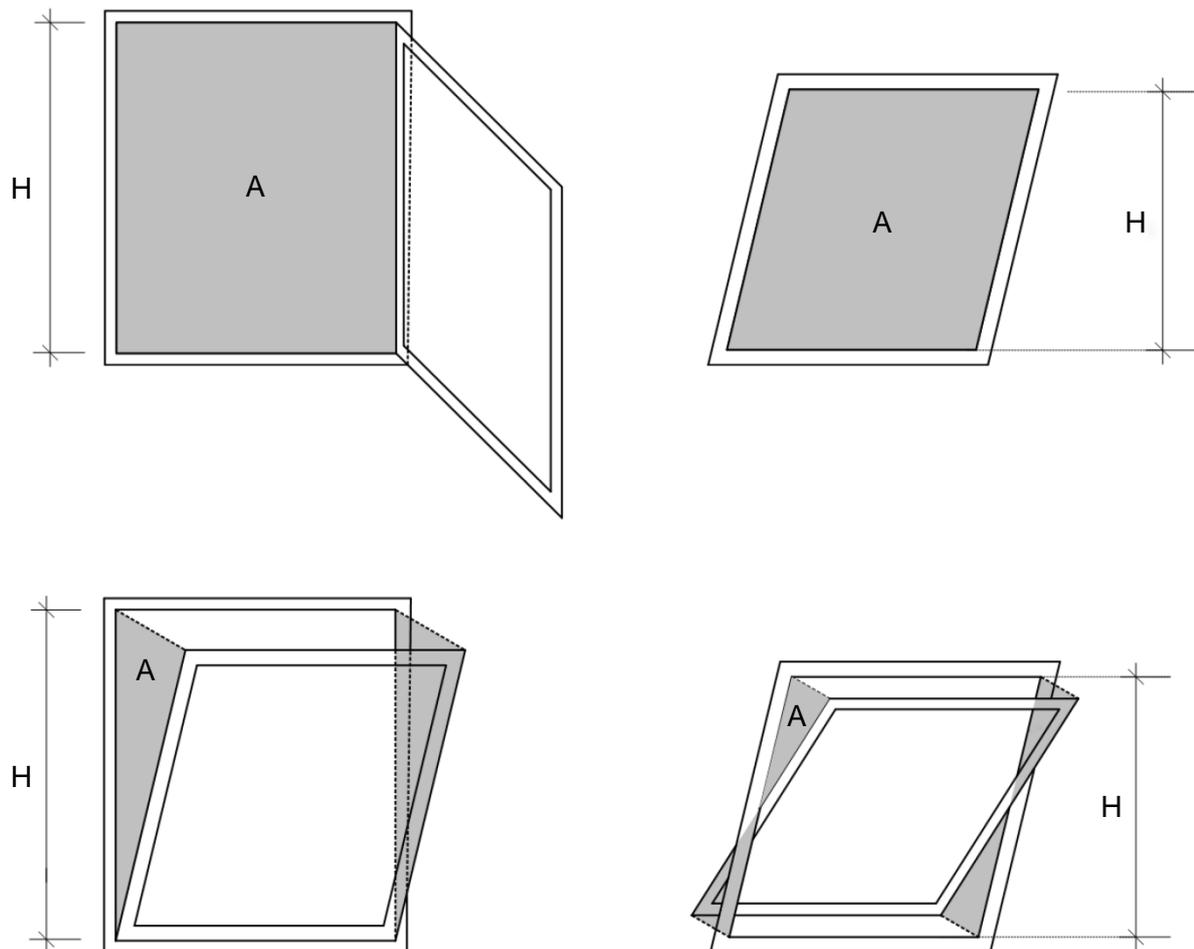


Abb. 10: Definition der Fläche A und der Höhe H der Lüftungsöffnung nach ÖNORM B 8110-3 [ÖNO12, S. 28]

Demnach wird bei geöffnetem Fenster das Produkt aus Höhe und Breite gebildet und als Öffnungsfläche für die Berechnung herangezogen.

Tabelle 11: Öffnungsfläche bei geöffnetem Fenster je Typ

Fenstertyp	lichte Breite in m	lichte Höhe in m	Öffnungsfläche bei geöffnetem Fenster in m ² = lichte Breite x lichte Höhe
KG	0,80	0,50	0,400
EG	0,80	2,00	1,600
OG	0,80	0,96	0,768

Bei gekipptem Fenster errechnet sich die Öffnungsfläche durch Multiplikation der Fensterhöhe mit der Kippweite, für die 10 cm angenommen wurden.

Tabelle 12: Öffnungsfläche bei gekipptem Fenster je Typ

Fenstertyp	Kippweite in m	lichte Höhe in m	Öffnungsfläche bei gekipptem Fenster in m ² = Kippweite x lichte Höhe
KG	0,10	0,50	0,050
EG	0,10	2,00	0,200
OG	0,10	0,96	0,096

Die Berechnung des Volumenstroms über die Lüftungsöffnung erfolgte in Anlehnung an die ÖNORM B 8110-3 [ÖNO12].

Die in dieser Norm enthaltene Formel ist Teil des detaillierten Rechenverfahrens zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung und enthält darum einen Sicherheitsfaktor von 0,7, der den Volumenstrom abmindert. Dieser Faktor stellt somit für den sommerlichen Kühlfall eine Sicherheit in der Berechnung dar, nicht aber für den winterlichen Heizfall. Aus diesem Grund entfiel dieser Faktor in der adaptierten Energiebedarfsberechnung dieser Arbeit.

$$\dot{V} = C_{\text{ref}} \cdot A \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{\Delta T} \quad (11)$$

\dot{V} Luftvolumenstrom über die Lüftungsöffnung in m³/h

C_{ref} Austauschkoeffizient; $C_{\text{ref}} = 100 \text{ m}^{0,5} / \text{h K}^{0,5}$

A Fläche der Lüftungsöffnung gemäß Abb. 10 bzw. Tabelle 11 und Tabelle 12 in m²

H Höhe der Lüftungsöffnung gemäß Abb. 10 bzw. Tabelle 11 und Tabelle 12 in m

ΔT Lufttemperaturdifferenz zwischen Außenluft und Innenraum in K

3.4.2.2.1 Fensteröffnen

Anhand der Formel (11) lässt sich der Luftvolumenstrom bei geöffnetem Fenster je Typ ermitteln. Dieser wird in Formel (12) mit der Fensteranzahl je Typ, der Öffnungsdauer je Typ,

sowie der Anzahl, wie oft die Fenster je Typ pro Tag geöffnet werden, multipliziert, um durch Aufsummierung dieser Produkte je Fenstertyp den gesamten Luftvolumenstrom zu ermitteln, der durch vollständiges Öffnen der Fenster zustande kommt.

$$\dot{V}_{\text{Öffnen}} = \sum_j n_{\text{Fenster},j} \cdot \frac{\tau_{\text{Öffnen},j}}{60} \cdot n_{\text{Öffnen},j} \cdot \dot{V}_{\text{Öffnen},j} \quad (12)$$

$\dot{V}_{\text{Öffnen}}$	Luftvolumenstrom durch Fensteröffnen in m ³ /h
$n_{\text{Fenster},j}$	Anzahl der Fenster des Typs j
$\tau_{\text{Öffnen},j}$	Öffnungsdauer der Fenster des Typs j in min
$n_{\text{Öffnen},j}$	Anzahl, wie oft die Fenster des Typs j pro Tag geöffnet werden
$\dot{V}_{\text{Öffnen},j}$	Luftvolumenstrom bei geöffnetem Fenster des Typs j in m ³ /h laut Formel (11)

Wie viele Fenster je Typ geöffnet werden, wie lang diese offen stehen und wie oft pro Tag gelüftet wird, wurde in den persönlichen Interviews erfragt.

Nachdem selten genaue Angaben über die Dauer des Stoßlüftens getroffen werden konnten, wurde der Faktor Öffnungsdauer $\tau_{\text{Öffnen},j}$ in die Liste der variablen Parameter zur Optimierung aufgenommen und zunächst mit 5 Minuten angesetzt.

3.4.2.2.2 Fensterkippen

Analog zur Berechnung des Luftvolumenstroms durch vollständiges Öffnen der Fenster laut Formel (12) erfolgte die Ermittlung des Luftvolumenstroms durch Kippen der Fenster wie folgt:

$$\dot{V}_{\text{Kippen}} = \sum_j n_{\text{Fenster},j} \cdot \frac{\tau_{\text{Kippen},j}}{60} \cdot n_{\text{Kippen},j} \cdot \dot{V}_{\text{Kippen},j} \quad (13)$$

\dot{V}_{Kippen}	Luftvolumenstrom durch Fensterkippen in m ³ /h
$n_{\text{Fenster},j}$	Anzahl der Fenster des Typs j
$\tau_{\text{Kippen},j}$	Kippdauer der Fenster des Typs j in min
$n_{\text{Kippen},j}$	Anzahl, wie oft die Fenster des Typs j pro Tag gekippt werden
$\dot{V}_{\text{Kippen},j}$	Luftvolumenstrom bei gekipptem Fenster des Typs j in m ³ /h laut Formel (11)

Die Werte der Faktoren $n_{\text{Fenster},j}$, $\tau_{\text{Kippen},j}$ sowie $n_{\text{Kippen},j}$ wurden wie im vorherigen Kapitel den persönlichen Gesprächen mit den Bewohnern entnommen.

Nachdem die Dauer des Fensterkippens durchwegs genau angegeben werden konnte, wurde der Faktor Kippdauer $\tau_{\text{Kippen},j}$ nicht in die Parameterliste zur Optimierung aufgenommen.

3.4.2.2.3 Berücksichtigung der Fensterlüftung im unbeheizten Keller

Zur Ermittlung des Lüftungsleitwertes dürfen natürlich nur die Luftvolumenströme all jener Fenster herangezogen werden, die sich in der konditionierten Zone befinden.

Bei Häusern mit unbeheiztem Keller wurden allerdings die Luftvolumenströme der Fenster im Keller ebenso ermittelt, da sie in der detaillierten Berechnung der Wärmeverluste über erdanliegende Bauteile (siehe Kapitel 3.5.2) berücksichtigt wurden.

Die Luftvolumenströme durch Öffnen und Kippen der Fenster im unbeheizten Keller wurden summiert und durch das Kellerluftvolumen dividiert, um die Luftwechselzahl für die Kellerluft zu erhalten.

$$n_{\text{Keller,unbeh.}} = \frac{\dot{V}_{\text{Öffnen,KG}} + \dot{V}_{\text{Kippen,KG}}}{V_{\text{Keller}}} \quad (14)$$

$n_{\text{Keller,unbeh.}}$ Luftwechselzahl für die Kellerluft im unbeheizten Keller in 1/h

$\dot{V}_{\text{Öffnen,KG}}$ Luftvolumenstrom durch Fensteröffnen im unbeheizten Keller in m³/h

$\dot{V}_{\text{Kippen,KG}}$ Luftvolumenstrom durch Fensterkippen im unbeheizten Keller in m³/h

V_{Keller} Kellerluftvolumen in m³

Das Luftvolumen des unbeheizten Kellers beträgt 82,41 m³.

3.4.2.3 Mechanische Lüftung

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 erwähnt, existieren in den untersuchten Kleingartenwohnhäusern jeweils zwei Ventilatoren.

3.4.2.3.1 Ventilator Bad

Bei der Berechnung des Luftvolumenstroms über die mechanische Lüftung im Bad wurden der Abluftberechnungsvolumenstrom, die tägliche Betriebsdauer und die Hygrostateinstellung des Ventilators berücksichtigt.

$$\dot{V}_{\text{Ventilator,Bad,eff}} = \dot{V}_{\text{Ventilator,Bad}} \cdot \frac{\tau_{\text{Ventilator,Bad}}}{24} \cdot \frac{100}{\varphi_{\text{Hygrostat}}} \quad (15)$$

$\dot{V}_{\text{Ventilator,Bad,eff}}$ effektiver Luftvolumenstrom des Ventilators im Bad in m³/h

$\dot{V}_{\text{Ventilator,Bad}}$ Abluftberechnungsvolumenstrom in m³/h

$\tau_{\text{Ventilator,Bad}}$ Betriebsdauer des Ventilators im Bad in h/Tag

$\varphi_{\text{Hygrostat}}$ Hygrostateinstellung in % relative Luftfeuchtigkeit

Der Abluftberechnungsvolumenstrom beträgt laut Datenblatt der Herstellerfirma 66 m³/h [WER16].

Die Division durch $\varphi_{\text{Hygrostat}}$ bewirkt, dass sich die Betriebsdauer des Ventilators verlängert, je geringer die Hygrostateinstellung ist.

Wurde der Ventilator im Bad manuell gesteuert, entfiel der letzte Term der Formel (15).

$$\dot{V}_{\text{Ventilator,Bad,eff}} = \dot{V}_{\text{Ventilator,Bad}} \cdot \frac{\tau_{\text{Ventilator,Bad}}}{24} \quad (16)$$

$\dot{V}_{\text{Ventilator,Bad,eff}}$ effektiver Luftvolumenstrom des Ventilators im Bad in m³/h

$\dot{V}_{\text{Ventilator,Bad}}$ Abluftberechnungsvolumenstrom in m³/h

$\tau_{\text{Ventilator,Bad}}$ Betriebsdauer des Ventilators im Bad in h/Tag

Die tägliche Betriebsdauer des Ventilators im Bad berücksichtigt die Anzahl und Dauer der Hygienemaßnahmen.

$$\tau_{\text{Ventilator,Bad}} = \sum_{\text{Hyg}} \frac{n_{\text{Hyg}}}{7} \cdot \frac{\tau_{\text{Hyg}} \cdot 3}{60} \quad (17)$$

$\tau_{\text{Ventilator,Bad}}$ Betriebsdauer des Ventilators im Bad in h/Tag

n_{Hyg} Anzahl der Hygienemaßnahmen pro Woche

τ_{Hyg} Dauer der Hygienemaßnahme in min

Während die Anzahl der Hygienemaßnahmen erfragt wurde, wurde die Dauer der Hygienemaßnahmen laut Tabelle 13 angesetzt und floss später als Parameter in den Optimierungsprozess ein.

Tabelle 13: Arten und Dauer von Hygienemaßnahmen

Hygienemaßnahme	τ_{Hyg} in min
Duschen kurz	5
Duschen mittel	10
Duschen lang	15
Baden	30

Der Faktor 3 in Formel (17) berücksichtigt die Nachlaufzeit des Ventilators: Es wurde angenommen, dass der Ventilator sowohl während der Hygienemaßnahme als auch im Anschluss daran noch die doppelte Zeitdauer in Betrieb ist.

Bei manuell gesteuerten Ventilatoren wurden die Bewohnerangaben bezüglich der Betriebsdauer besonders berücksichtigt. Wurde der Ventilator z.B. nur *nach* einer Hygienemaßnahme in Betrieb genommen, reduzierte sich in der Formel (17) der Faktor 3 auf 2.

3.4.2.3.2 Ventilator WC

Bei der Berechnung des Luftvolumenstroms über die mechanische Lüftung im WC wurden der Abluftberechnungsvolumenstrom, die tägliche, durchschnittliche Betriebsdauer pro Person, die Personenanzahl und die Personenanwesenheit berücksichtigt.

$$\dot{V}_{\text{Ventilator,WC,eff}} = \dot{V}_{\text{Ventilator,WC}} \cdot \tau_{\text{Ventilator,WC/Pers}} \cdot n_{\text{Pers}} \cdot \bar{\tau}_{\text{Pers.ges.}} \quad (18)$$

$\dot{V}_{\text{Ventilator,WC,eff}}$ effektiver Luftvolumenstrom des Ventilators im WC in m³/h

$\dot{V}_{\text{Ventilator,WC}}$ Abluftberechnungsvolumenstrom in m³/h

$\tau_{\text{Ventilator,WC/Pers}}$ durchschnittliche Betriebsdauer des Ventilators im WC pro Person in h/Tag

n_{Pers} Personenanzahl laut Kapitel 3.3.2

$\bar{\tau}_{\text{Pers.ges.}}$ durchschnittliche Anwesenheitszeit aller Personen eines Haushaltes
in h/Tag/Person

Der Abluftberechnungsvolumenstrom wurde analog dem Ventilator im Bad mit 66 m³/h angenommen.

Die Anwesenheitsdauer der Personen pro Tag wurde der Datenerhebung entnommen.

Die durchschnittliche, tägliche Betriebsdauer des Ventilators im WC berücksichtigt die Anzahl und Dauer der WC-Nutzungen sowie die Nachlaufzeit des Ventilators.

$$\tau_{\text{Ventilator,WC/Pers}} = \sum_{\text{Nutz}} n_{\text{Nutz}} \cdot \frac{\tau_{\text{Nutz}} + \tau_{\text{Nachlauf}}}{60} \quad (19)$$

$\tau_{\text{Ventilator,WC/Pers}}$ durchschnittliche Betriebsdauer des Ventilators im WC pro Person in h/Tag

n_{Nutz} Anzahl WC-Nutzungen pro Tag

τ_{Nutz} Nutzungsdauer in min

τ_{Nachlauf} Nachlaufzeit des Ventilators in min

Die WC-Nutzungen wurden laut Tabelle 14 festgelegt.

Tabelle 14: Arten, Dauer und Anzahl der WC-Nutzungen pro Tag

WC-Nutzungen	τ_{Nutz} in min	n_{Nutz} pro Tag
kurze Nutzung	1,5	5
lange Nutzung	5,0	1

Es wurde angenommen, dass der Ventilator im WC mit dem WC-Licht gekoppelt ist und nach jeder WC-Nutzung 5 Minuten nachläuft.

3.5 Transmissionswärmeverluste

3.5.1 Transmissionswärmeverluste in der standardisierten Energiebedarfsberechnung

Die monatlichen Transmissionswärmeverluste Q_T sind laut ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] gemäß Formel (20) zu ermitteln.

$$Q_T = \frac{1}{1000} \cdot L_T \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad (20)$$

Q_T monatliche Transmissionswärmeverluste in kWh/M

L_T Transmissionsleitwert in W/K

ϑ_i mittlere Innentemperatur in °C

ϑ_e mittlere Außentemperatur in °C

t Dauer des jeweiligen Monats in h/M

Der Transmissionsleitwert L_T setzt sich laut ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] zusammen aus den Teil-Transmissionsleitwerten für Bauteile, die den konditionierten Innenraum mit der Außenluft thermisch verbinden (direkt, über nicht konditionierte Räume sowie über das Erdreich), sowie aus Leitwertzuschlägen für Wärmebrücken.

$$L_T = L_e + L_u + L_g + L_\psi + L_\chi \quad (21)$$

L_T	Transmissionsleitwert in W/K
L_e	Leitwert für außenluftberührte Bauteile in W/K
L_u	Leitwert für Bauteile zu nicht konditionierten Räumen in W/K
L_g	Leitwert für erdberührte Bauteile in W/K
L_ψ	Leitwertzuschlag für linienförmige Wärmebrücken in W/K
L_χ	Leitwertzuschlag für punktförmige Wärmebrücken in W/K

Laut ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] kann bei der Ermittlung der Teil-Transmissionsleitwerte zwischen dem vereinfachten und dem detaillierten Berechnungsverfahren gewählt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden die Wärmebrücken mittels der Pauschalformel gemäß ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] ermittelt, die übrigen Teil-Transmissionsleitwerte wurden detailliert berechnet.

Das detaillierte Berechnungsverfahren für L_g gemäß EN ISO 13370 [ENI07a] ermöglicht die Ermittlung der Wärmeverluste über direkt oder indirekt erdanliegende Bauteile wie Bodenplatten, konditionierte Keller und Bauteile zu nicht konditionierten Kellergeschoßen.

In den Kleingartenwohnhäusern ohne Keller sowie mit beheiztem Keller sind alle Räume konditioniert, die untersuchten Gebäude mit unbeheiztem Keller weisen neben dem Untergeschoß keine weiteren nicht konditionierten Räume auf. Somit konnte anhand der detaillierten Berechnung gemäß EN ISO 13370 [ENI07a] sowohl die Transmission über erdberührte Bauteile als auch über Bauteile zu nicht konditionierten Räumen berücksichtigt werden.

Nachdem die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs unbekannt waren, wurden die in der EN ISO 13370 [ENI07a] für diesen Fall angegebenen Werte verwendet.

Bei der Ermittlung der Wärmeverluste über unbeheizte Keller wurde der Treppenabgang laut den Grundlagen der ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14, S. 7f.] detailliert berücksichtigt; für die Luftwechselrate n wurde gemäß EN ISO 13370 [ENI07a] ein Wert von $0,3 \text{ h}^{-1}$ angenommen.

Das Ergebnis des detaillierten Berechnungsverfahrens gemäß EN ISO 13370 [ENI07a] liefert allerdings keine Leitwerte, sondern bereits die monatlichen Wärmeverluste über erdberührte Bauteile Q_g , die wie oben erwähnt sowohl L_g als auch L_u beinhalten.

Nach diesbezüglicher Adaption der Formel (20) sieht die Berechnung des monatlichen Transmissionswärmeverlustes Q_T in der vorliegenden Arbeit folgendermaßen aus:

$$Q_T = \frac{1}{1000} \cdot (L_e + L_\psi + L_\chi) \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + Q_g \quad (22)$$

Q_T	monatliche Transmissionswärmeverluste in kWh/M
L_e	Leitwert für außenluftberührte Bauteile in W/K
L_ψ	Leitwertzuschlag für linienförmige Wärmebrücken in W/K
L_χ	Leitwertzuschlag für punktförmige Wärmebrücken in W/K
ϑ_i	mittlere Innentemperatur in °C
ϑ_e	mittlere Außentemperatur in °C
t	Dauer des jeweiligen Monats in h/M
Q_g	monatliche Wärmeverluste über erdberührte Bauteile in kWh/M

Bei der pauschalierten Berechnung der Wärmebrücken gemäß ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] wurden nur die Bauteilflächen und U-Werte der außenluftberührten Konstruktionen berücksichtigt, da im detaillierten Verfahren zur Berechnung von Q_g gemäß EN ISO 13370 [ENI07a] der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ψ_g die Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte berücksichtigt.

3.5.2 Transmissionswärmeverluste in der adaptierten Energiebedarfsberechnung

Die Ermittlung der monatlichen Transmissionswärmeverluste Q_T erfolgte in der adaptierten Energiebedarfsberechnung analog zum standardisierten Berechnungsverfahren gemäß Formel (22), allerdings wurde den monatlichen Wärmeverlusten über erdberührte Bauteile der Faktor f_g zur späteren Optimierung hinzugefügt (siehe Formel (23)).

Außerdem wurde bei der Ermittlung der Wärmeverluste über unbeheizte Keller gemäß EN ISO 13370 [ENI07a] für die Luftwechselrate nicht der Default-Wert von $0,3 \text{ h}^{-1}$, sondern die tatsächliche Luftwechselrate laut Kapitel 3.4.2.2.3 verwendet.

$$Q_T = \frac{1}{1000} \cdot (L_e + L_\psi + L_\chi) \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + Q_g \cdot f_g \quad (23)$$

Q_T	monatliche Transmissionswärmeverluste in kWh/M
L_e	Leitwert für außenluftberührte Bauteile in W/K
L_ψ	Leitwertzuschlag für linienförmige Wärmebrücken in W/K
L_χ	Leitwertzuschlag für punktförmige Wärmebrücken in W/K
ϑ_i	mittlere Innentemperatur in °C
ϑ_e	mittlere Außentemperatur in °C
t	Dauer des jeweiligen Monats in h/M
Q_g	monatliche Wärmeverluste über erdberührte Bauteile in kWh/M
f_g	Faktor für erdberührte Bauteile

Nachdem die monatlichen Wärmeverluste über erdberührte Bauteile je nach Vorhandensein eines Kellergeschoßes bzw. dessen Konditionierung deutlich variieren, wurde auch der Faktor f_g untergliedert, um eine individuelle Optimierung des Prognosemodells je nach Gebäudetyp gewährleisten zu können:

$f_{g,oK}$	Faktor für erdberührte Bauteile bei Häusern ohne Keller
$f_{g,mKu}$	Faktor für erdberührte Bauteile bei Häusern mit unbeheiztem Keller
$f_{g,mKb}$	Faktor für erdberührte Bauteile bei Häusern mit beheiztem Keller

Nachdem die Bauteilflächen und U-Werte der erdberührten Konstruktionen und der Konstruktionen zu unbeheizten Räumen nicht in der pauschalierten Wärmebrückenermittlung berücksichtigt wurden, wurden die Werte für die Faktoren $f_{g,oK}$, $f_{g,mKu}$ und $f_{g,mKb}$ mit 1,1 angesetzt, was einer Erhöhung der Wärmeverluste über erdberührte Bauteile um 10% entspricht.

3.6 Innere Wärmegewinne

Die inneren Wärmegewinne Q_i umfassen Energieeinträge durch Wärmeabgabe von Lebewesen, elektrischen Geräten und künstlicher Beleuchtung.

3.6.1 Innere Wärmegewinne in der standardisierten Energiebedarfsberechnung

Die inneren Wärmegewinne sind gemäß ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] folgendermaßen zu berechnen:

$$Q_i = \frac{1}{1000} \cdot q_i \cdot \text{BGF} \cdot 0,8 \cdot t \quad (24)$$

Q_i	monatliche innere Wärmegewinne in kWh/M
q_i	innere Wärmegewinne infolge Personen und Geräten gemäß ÖNORM B 8110-5 [ÖNO11a] in W/m ²
BGF	Brutto-Grundfläche in m ²
t	Dauer des jeweiligen Monats in h/M

Laut der Nutzungsprofilabelle in der ÖNORM B 8110-5 [ÖNO11a] gilt für Einfamilienhäuser:
 $q_i = 3,75 \text{ W / m}^2$.

3.6.2 Innere Wärmegewinne in der adaptierten Energiebedarfsberechnung

Die Berechnung der inneren Wärmegewinne erfolgte in der adaptierten Energiebedarfsberechnung zwar auf Grundlage der Formel (24), allerdings wurde für q_i kein standardisierter Wert eingesetzt. Vielmehr wurde versucht, die tatsächlichen inneren Wärmegewinne zu berechnen. Die flächenbezogene Wärmestromdichte q_i wurde deshalb durch den absoluten Wärmestrom \dot{Q}_i ersetzt und die Multiplikation mit der Fläche entfiel.

$$Q_i = \frac{1}{1000} \cdot \dot{Q}_i \cdot t \quad (25)$$

Q_i	monatliche innere Wärmegewinne in kWh/M
\dot{Q}_i	Wärmeabgabe durch Personen, Haustiere und elektrische Geräte in Wh/h
t	Dauer des jeweiligen Monats in h/M

Bei der Dauer des jeweiligen Monats wurden die Urlaubstage der Bewohner berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3.3.1).

Es wurde versucht, durch Einbeziehung der tatsächlichen Anwesenheitszeiten aller Lebewesen eines Haushaltes, d. h. sowohl Personen als auch Haustiere, sowie durch die Stromver-

brauchsdaten die tatsächlichen inneren Wärmegewinne besser abzuschätzen.

Die Ermittlung von \dot{Q}_i wurde deshalb in folgende Bereiche unterteilt:

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{i,\text{Strom}} + \dot{Q}_{i,\text{Pers}} + \dot{Q}_{i,\text{Ht}} \quad (26)$$

\dot{Q}_i Wärmeabgabe durch Lebewesen und elektrische Geräte in Wh/h

$\dot{Q}_{i,\text{Strom}}$ Wärmeabgabe durch elektrische Geräte in Wh/h

$\dot{Q}_{i,\text{Pers}}$ Wärmeabgabe durch Personen in Wh/h

$\dot{Q}_{i,\text{Ht}}$ Wärmeabgabe durch Haustiere in Wh/h

3.6.2.1 Elektrische Geräte und künstliche Beleuchtung

Aus den Stromabrechnungen des dreijährigen Beobachtungszeitraumes wurde je Haus der durchschnittliche Strombedarf in kWh/Jahr ermittelt und in W/h umgerechnet. Nachdem elektrische Geräte einen Großteil der ihnen zugeführten Energie wieder in Form von Wärme an ihre Umgebung abgeben [RIC13, S. 56], wurde der Stromverbrauch zu 100% in die Berechnung übernommen und mit einem Faktor zur späteren Optimierung versehen.

$$\dot{Q}_{i,\text{Strom}} = f_{\text{Strom}} \cdot \text{SB} \cdot \frac{1000}{365 \cdot 24} \quad (27)$$

$\dot{Q}_{i,\text{Strom}}$ innere Wärmegewinne infolge elektrischer Geräte in Wh/h

f_{Strom} Faktor Strom

SB durchschnittlicher Strombedarf in kWh/Jahr

3.6.2.2 Personen

Die inneren Wärmegewinne durch Wärmeabgabe von Personen wurden mittels Formel (28) berechnet. Für alle Personen, die während der dreijährigen Betrachtungsperiode ein untersuchtes Kleingartenwohnhaus bewohnten, wurde ihre durchschnittliche Anwesenheitszeit pro Stunde ermittelt, mit der der Personenart entsprechenden Wärmeabgabe multipliziert und im Anschluss summiert.

$$\dot{Q}_{i,Pers} = \sum_{k=1}^{n_{Pers,ges.}} \frac{\bar{\tau}_{Pers,k,j}}{24} \cdot \dot{Q}_{Pers,k,j} \quad (28)$$

- $\dot{Q}_{i,Pers}$ Wärmeabgabe durch Personen in Wh/h
 $n_{Pers,ges.}$ gesamte Personenanzahl laut Kapitel 3.3.2
 $\bar{\tau}_{Pers,j}$ durchschnittliche Anwesenheit einer Person der Personenart j in h/Tag
 $\dot{Q}_{Pers,k,j}$ Wärmeabgabe pro Person der Personenart j in Wh/h

Die Wärmeabgabe je Personenart wurde folgendermaßen ermittelt:

Laut EN ISO 13790 (Tabelle G.12) [ENI08, S. 143] beträgt der mittlere Wärmestrom pro Person 70 Watt, in anderen Worten beträgt also die Wärmeabgabe pro Person 70 Wh pro Stunde.

Der Arbeit „Der Mensch als wärmetechnisches System“ des Professors Dr.-Ing. E. Specht [SPE05] ist zu entnehmen, dass sich der abgeführte Wärmestrom des menschlichen Körpers \dot{Q}_{Pers} mathematisch durch den Newtonschen Ansatz (siehe Formel (29)) beschreiben lässt:

$$\dot{Q}_{Pers} = k \cdot A_{Pers} \cdot (\vartheta_{Haut} - \vartheta_{Umgeb.}) \quad (29)$$

- \dot{Q}_{Pers} abgeführter Wärmestrom einer Person in W
 k Wärmedurchgangskoeffizient
 A_{Pers} Körperoberfläche in m²
 ϑ_{Haut} Temperatur der Hautoberfläche in °C
 $\vartheta_{Umgeb.}$ Temperatur der Umgebung in °C

„Die Wärmeabgabe des Menschen ist also proportional seiner Oberfläche“ [SPE05, S. 5].

Die durchschnittliche Körperoberfläche eines Menschen wird im medizinischen Fachbuch „Ernährungsmedizinische Praxis“ [MÜL07, S. 167] mit 1,73 m² angegeben.

Zusammengefasst beträgt also der durchschnittliche Wärmestrom eines Menschen \dot{Q}_{Pers} 70 Watt bei einer durchschnittlichen Körperoberfläche A_{Pers} von 1,73 m², wobei die Wärmeabgabe proportional zur Oberfläche ist.

Es lässt sich also mittels Division von \dot{Q}_{Pers} durch A_{Pers} eine durchschnittliche Wärmeabgabe von 40,46 W/m² ermitteln.

Die folgende Tabelle zeigt in der zweiten Spalte die durchschnittliche Körperoberfläche verschiedener Personengruppen, die ebenfalls demselben medizinischen Fachbuch entnommen sind [MÜL07, S. 23f.]. Die dritte Spalte stellt das Ergebnis der Multiplikation der Körperoberfläche mit der durchschnittlichen Wärmeabgabe von 40,46 W/m² dar.

Tabelle 15: Durchschnittliche Körperoberfläche und Wärmeabgabe verschiedener Personengruppen

	A_{Pers} in m ²	\dot{Q}_{Pers} in Wh/h
Durchschnittliche Körperoberfläche	1,73	70,0
Männer	1,90	76,9
Frauen	1,60	64,7
Neugeborene	0,25	10,1
2 Monate alter Säugling	0,30	12,1
2-4-jährige Kinder	0,50	20,2
5-jährige Kinder	0,75	30,3
9-jährige Kinder	1,07	43,3
10-jährige Kinder	1,14	46,1
Kinder im Alter 12-13	1,33	53,8

Die Werte der durchschnittlichen Körperoberfläche verschiedener Personengruppen laut Tabelle 15 wurden übernommen bzw. interpoliert, um A_{Pers} der in Kapitel 3.3.1 festgelegten Personengruppen zu berechnen. Die sich daraus ergebenden Werte finden sich in der zweiten Spalte der Tabelle 16. Die dritte Spalte der folgenden Tabelle stellt wiederum die Produkte von der durchschnittlichen Körperoberfläche je Personengruppe und der durchschnittlichen Wärmeabgabe von 40,46 W/m² dar, die für die Berechnung gemäß Formel (28) verwendet wurden.

Tabelle 16: Durchschnittliche Körperoberfläche und Wärmeabgabe je Personengruppe

Personengruppe	A_{Pers} in m ²	\dot{Q}_{Pers} in Wh/h
Erwachsener	1,73	70,0
Kind > 10 Jahre	1,33	53,8
Kind < 10 Jahre	0,79	32,0
Baby	0,36	14,5

3.6.2.3 Haustiere

Analog zur Berechnung der inneren Wärmegewinne durch Wärmeabgabe von Personen erfolgte die Ermittlung der inneren Wärmegewinne durch Wärmeabgabe von gleichwarmen Haustieren im ersten Term der Formel (30): Für alle gleichwarmen Haustiere eines Kleingartenwohnhauses wurde ihre durchschnittliche Anwesenheitszeit pro Stunde ermittelt, mit der der Tierart entsprechenden Wärmeabgabe multipliziert und im Anschluss summiert.

In Terrarien lebende, wechselwarme Tiere wurden im zweiten Term der Berechnung berücksichtigt, da in diesem Fall nicht die Tiere selbst, sondern die in den Terrarien angebrachten Infrarotstrahler Wärme an die Umgebung abgeben. Die durchschnittliche Betriebsdauer aller Infrarotstrahler pro Stunde wurde mit den jeweiligen Wärmeströmen multipliziert und anschließend summiert.

$$\dot{Q}_{i,Ht} = \sum_{k=1}^{n_{Ht,gw}} \frac{\bar{\tau}_{Ht,gw,k,j}}{24} \cdot \dot{Q}_{Ht,gw,k,j} + \sum_{k=1}^{n_{IR}} \frac{\bar{\tau}_{IR,k,j}}{24} \cdot \dot{Q}_{IR,k,j} \quad (30)$$

$\dot{Q}_{i,Ht}$	Wärmeabgabe durch Haustiere in Wh/h
$n_{Ht,gw}$	Anzahl an gleichwarmen Haustieren
$\bar{\tau}_{Ht,gw,j}$	durchschnittliche Anwesenheit eines Haustieres der Tierart j in h/Tag
$\dot{Q}_{Ht,gw,j}$	Wärmeabgabe pro Haustier der Tierart j in Wh/h
n_{IR}	Anzahl an Infrarotstrahlern
$\bar{\tau}_{IR,j}$	durchschnittliche Betriebsdauer eines Infrarotstrahlers des Typs j in h/Tag
$\dot{Q}_{IR,j}$	Wärmestrom eines Infrarotstrahlers des Typs j in Wh/h

(Anmerkung: Der Wärmestrom eines Infrarotstrahlers entspricht seiner Leistung in Watt.)

Die Wärmeabgabe eines Tieres erfolgt analog zur Wärmeabgabe einer Person über die Körperoberfläche. Die Wärmeproduktion ist allerdings vom Körpervolumen abhängig. Das bedeutet, dass große, gleichwarme Tiere viel Wärme produzieren und nur wenig abstrahlen, kleine, gleichwarme Tiere hingegen einen hohen Energieumsatz im Vergleich zu ihrer Körpermasse haben. [SCH16]

Anhand Abb. 11 ist ersichtlich, dass Haustiere wie Hund, Hase oder Meerschweinchen einen ungefähr ähnlich großen Energieumsatz im Vergleich zu ihrer Körpermasse wie der Mensch haben.

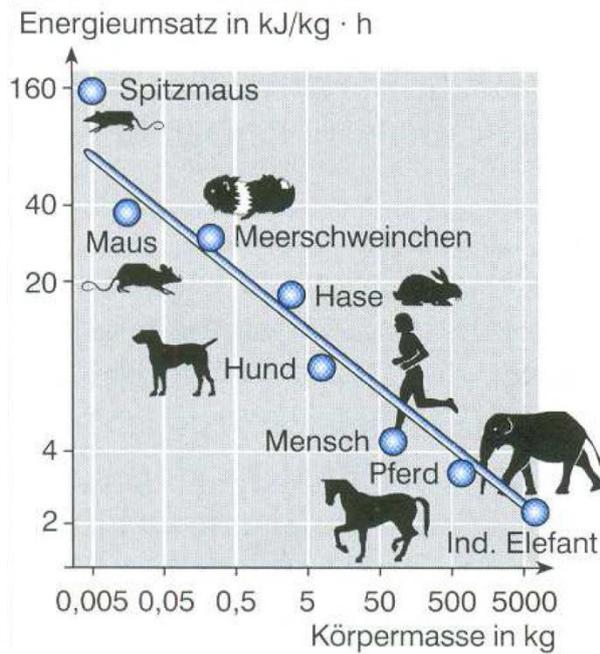


Abb. 11: Energieumsatz verschiedener Säugetiere im Vergleich zu ihrer Körpermasse [SCH16, S. 1]

Aufgrund des ähnlich großen Verhältnisses zwischen Körpermasse und Energieumsatz zwischen den oben genannten Haustieren und dem Menschen wurde zur Berechnung der Wärmeabgabe von Haustieren der in Kapitel 3.6.2.2 ermittelte Wert der durchschnittlichen Wärmeabgabe eines Menschen von $40,46 \text{ W/m}^2$ herangezogen.

Analog zur Berechnung der Wärmeabgabe von Personen wurde dieser Durchschnittswert mit der Körperoberfläche des Haustieres A_{Ht} multipliziert, um die Wärmeabgabe des Haustieres $\dot{Q}_{\text{Ht,gw}}$ zu ermitteln.

Die Werte für die Körperoberfläche von Hunden und Katzen verschiedener Größe wurden einer Umrechnungstabelle zur Konvertierung der Körpermasse in die Körperoberfläche [PLU95] entnommen.

Tabelle 17: Tierarten und Wärmeabgabe je Tierart

Tierarten	A_{Ht} in m^2	$\dot{Q}_{\text{Ht,gw}}$ in Wh/h
Hund groß (30 kg)	0,96	38,8
Hund mittel (18 kg)	0,69	27,9
Hund klein (7 kg)	0,36	14,6
Katze (4 kg)	0,25	10,2

Die für die Berechnung der Wärmeabgabe durch Haustiere gemäß Formel (30) benötigten Werte für $\dot{Q}_{\text{Ht,gw}}$ wurden somit der Tabelle 17 entnommen.

Ein Hase wurde, die Wärmeabgabe betreffend, einer Katze gleichgesetzt.

Ebenso wurde die Wärmeabgabe von drei Meerschweinchen der einer Katze gleichgestellt.

3.7 Innenklima

3.7.1 Innenklima in der standardisierten Energiebedarfsberechnung

Gemäß OIB-Richtlinie 6 [OIB15 bzw. LEI15] ist das Nutzungsprofil der ÖNORM B 8110-5 zu entnehmen. Der Monatsmittelwert der Innentemperatur im Heizfall ist in dieser Norm [ÖNO11a] mit 20°C festgelegt.

3.7.2 Innenklima in der adaptierten Energiebedarfsberechnung

Wie die Datenerhebung gezeigt hat, entspricht eine konstante Innentemperatur in der Heizsaison in den meisten Fällen nicht der Realität. In 31 der 35 untersuchten Häuser wurde eine Nachtabenkung verwendet.

Um diese Tatsache in der Berechnung zu berücksichtigen, wurde der Monatsmittelwert der Innentemperatur gemäß Formel (31) ermittelt. Dabei wurde die durch Loggerdaten bzw. durch Befragung erhobene Raumtemperatur mit der täglichen Heizdauer multipliziert und mit dem Produkt aus Absenkttemperatur und Absenkdauer summiert; anschließend wurde durch die Anzahl an Stunden pro Tag dividiert.

$$\vartheta_i = \frac{\vartheta_{i,erh.} \cdot \tau_{Heiz.} + \vartheta_{i,Absenk.} \cdot \tau_{Absenk.}}{24} \quad (31)$$

ϑ_i	Monatsmittelwert der Innentemperatur in °C
$\vartheta_{i,erh.}$	erhobene Innentemperatur in °C laut Kapitel 3.7.2.1
$\tau_{Heiz.}$	Heizdauer in h/Tag laut Kapitel 3.7.2.2
$\vartheta_{i,Absenk.}$	Absenkttemperatur in °C laut Kapitel 3.7.2.3
$\tau_{Absenk.}$	Absenkdauer in h/Tag laut Kapitel 3.7.2.4

3.7.2.1 Erhobene Innentemperatur

Wie in Kapitel 3.1.2.1 beschrieben, wurde in 28 der 35 untersuchten Häuser die Innentemperatur im Wohnbereich im Erdgeschoß mittels Datenloggern gemessen. Mit Ausnahme von zwei Häusern, in welchen die Temperaturaufzeichnungen nur ein bzw. zwei Monate möglich

waren, wurde der Mittelwert der viertelstündlich gemessenen Raumtemperaturwerte von Dezember 2012 bis März 2013 gebildet (siehe Abb. 8 in Kapitel 3.1.2.1) und als Innentemperatur für die Berechnung herangezogen.

In den übrigen sieben Gebäuden, in denen keine Temperaturmessungen vorgenommen werden konnten, fanden die Angaben der Bewohner laut Fragebogen bzw. Interview Verwendung im Prognosemodell.

Wie bei den persönlichen Befragungen beobachtet werden konnte, stützten sich diese Angaben vorwiegend auf die am Thermostat eingestellte und ablesbare Raumtemperatur. Nachdem allerdings der Raumthermostat im Wohnbereich im Erdgeschoß oberhalb eines Radiators angebracht ist, weicht die am Thermostat eingestellte, ablesbare Raumtemperatur von der tatsächlichen, in Raummitte gemessenen Temperatur ab. Der Vergleich der in den 28 Häusern mittels Datenloggern in Raummitte gemessenen Innentemperatur mit den Bewohnerangaben derselben Häuser zeigte eine mittlere Abweichung von 1,5 K.

Aus diesem Grund wurde die Formel zur Ermittlung der Innentemperatur der sieben Häuser ohne Datenlogger mit dem Temperaturkorrekturwert $k_{\vartheta_{i,Bew}} = -1,5 \text{ K}$ ergänzt, der als Parameter für die Optimierung übernommen wurde.

In beiden Fällen wurde noch die zusätzliche Variable k_{ϑ_i} zur Korrektur der Innenraumtemperatur hinzugefügt, da der gemessene bzw. angegebene Temperaturwert des Wohnbereichs im Erdgeschoß möglicherweise von der mittleren Innenraumtemperatur des gesamten Hauses abweichen könnte. Der Wert von k_{ϑ_i} wurde vorerst mit 0 K angesetzt und in die Liste der Optimierungsparameter aufgenommen.

Zusammenfassend wurde also die zur Berechnung laut Formel (31) herangezogene, erhobene Innentemperatur gemäß Formel (32) ermittelt, wenn Loggerdaten vorhanden sind, und gemäß Formel (33), wenn keine Temperaturmessungen möglich waren.

$$\vartheta_{i,erh.} = \vartheta_{i,Logger} + k_{\vartheta_i} \quad (32)$$

$\vartheta_{i,erh.}$ erhobene Innentemperatur in °C

$\vartheta_{i,Logger}$ mittlere, gemessene Innentemperatur in °C

k_{ϑ_i} Wert zur Korrektur der Innentemperatur aller Häuser in K

$$\vartheta_{i,erh.} = (\vartheta_{i,Bew.} + k_{\vartheta_{i,Bew.}}) + k_{\vartheta_i} \quad (33)$$

$\vartheta_{i,erh.}$ erhobene Innentemperatur in °C

$\vartheta_{i,Bew.}$ Innentemperatur laut Bewohnerangaben in °C

$k_{\vartheta_{i,Bew.}}$ Wert zur Korrektur der Innentemperatur laut Bewohnerangaben in K

k_{ϑ_i} Wert zur Korrektur der Innentemperatur aller Häuser in K

3.7.2.2 Heizdauer

Die Zeitdauer, in der die Heizung eines Haushaltes während der Heizperiode täglich in Betrieb ist, wurde prinzipiell in den Interviews erfragt.

Wurde keine Nachtabsenkung verwendet, so wurde die tägliche Heizdauer $\tau_{Heiz.} = 24$ h gesetzt.

Falls eine Nachtabsenkung verwendet wurde, aber diesbezüglich keine genaueren Angaben seitens der befragten Bewohner getroffen werden konnten, wurde die Heizdauer gemäß Formel (34) ermittelt. Die durchschnittliche Anwesenheitszeit aller Bewohner eines Haushaltes bzw. die maximale durchschnittliche Anwesenheit einer Person diente dabei als Grundlage: Vom größeren der beiden Werte $\bar{\tau}_{Pers.ges.}$ bzw. $\bar{\tau}_{Pers.max.}$ wurde der Reduktionswert $\tau_{Heiz.,red.}$ abgezogen. Der Wert $\tau_{Heiz.,red.}$ steht für die Dauer der Nachtabsenkung, wurde mit 8 h angenommen und als Parameter in der Optimierung berücksichtigt.

$$\tau_{Heiz.} = \bar{\tau}_{Pers.ges.} - \tau_{Heiz.,red.} \geq \bar{\tau}_{Pers.max.} - \tau_{Heiz.,red.} \quad (34)$$

$\tau_{Heiz.}$ Heizdauer in h/Tag

$\bar{\tau}_{Pers.ges.}$ durchschnittliche Anwesenheitszeit aller Personen eines Haushaltes in h/Tag/Person laut Kapitel 3.3.3.2

$\tau_{Heiz.,red.}$ Reduktion der Heizdauer in h/Tag

$\bar{\tau}_{Pers.max.}$ maximale durchschnittliche Anwesenheit einer Person in h/Tag/Person laut Kapitel 3.3.3.2

3.7.2.3 Absenktemperatur

Zur Erhebung der Absenktemperatur wurde die Differenz zur Raumtemperatur im Heizbetrieb in den Interviews erfragt.

Konnten diesbezüglich keine genauen Angaben seitens der befragten Bewohner getroffen

werden, wurde die angenommene Temperaturdifferenz $\Delta T_{\text{Absenk.}}$ von der erhobenen Innentemperatur $\vartheta_{i,\text{erh.}}$ gemäß Kapitel 3.7.2.1 abgezogen. Der Wert für $\Delta T_{\text{Absenk.}}$ wurde mit 2 K angesetzt und als Parameter in die Optimierung übernommen.

In beiden Fällen erfolgte noch eine Addition des Korrekturwertes $k_{\text{Absenk.}}$, der als Parameter zur späteren Optimierung diente und mit 0 K angenommen wurde.

Die zur Berechnung laut Formel (31) herangezogene Absenkttemperatur wird somit gemäß Formel (35) ermittelt, wenn genaue Bewohnerangaben vorhanden sind, und gemäß Formel (36), wenn nur bekannt ist, dass eine Nachtabenkung verwendet wird.

$$\vartheta_{i,\text{Absenk.}} = \vartheta_{i,\text{Absenk.,erh.}} + k_{\text{Absenk.}} \quad (35)$$

- $\vartheta_{i,\text{Absenk.}}$ Absenkttemperatur in °C
- $\vartheta_{i,\text{Absenk.,erh.}}$ erhobene Absenkttemperatur in °C laut Kapitel 3.7.2.1
- $k_{\text{Absenk.}}$ Wert zur Korrektur der Absenkttemperatur in K

$$\vartheta_{i,\text{Absenk.}} = \vartheta_{i,\text{erh.}} - \Delta T_{\text{Absenk.}} + k_{\text{Absenk.}} \quad (36)$$

- $\vartheta_{i,\text{Absenk.}}$ Absenkttemperatur in °C
- $\vartheta_{i,\text{erh.}}$ erhobene Innentemperatur in °C laut Kapitel 3.7.2.1
- $\Delta T_{\text{Absenk.}}$ Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Absenkttemperatur in K
- $k_{\text{Absenk.}}$ Wert zur Korrektur der Absenkttemperatur in K

3.7.2.4 Absenkdauer

Die Zeitdauer der Absenkung lässt sich durch Subtraktion der Heizdauer von den 24 Tagstunden ermitteln.

$$\tau_{\text{Absenk.}} = 24 - \tau_{\text{Heiz.}} \quad (37)$$

- $\tau_{\text{Absenk.}}$ Absenkdauer in h/Tag
- $\tau_{\text{Heiz.}}$ Heizdauer in h/Tag

3.8 Außenklima

3.8.1 Außenklima in der standardisierten Energiebedarfsberechnung

Die Werte für das Standortklima werden laut OIB-Richtlinie 6 [OIB15 bzw. LEI15] gemäß der ÖNORM B 8110-5 ermittelt.

Geographisch fällt die untersuchte Kleingartenwohnanlage in die Klimazone Nord und liegt auf einer Seehöhe von 153 m über Adria [VIV14].

Anhand dieser Daten konnte die mittlere Außentemperatur im jeweiligen Monat durch die entsprechenden Regressionskoeffizienten ermittelt werden.

Zur Berechnung der mittleren Monatssummen der Globalstrahlung auf 90°-geneigte Flächen wurden die Transpositionsfaktoren für die Himmelsrichtungen NNO, OSO, SSW und WNW herangezogen.

3.8.2 Außenklima in der adaptierten Energiebedarfsberechnung

3.8.2.1 Außentemperaturwerte

Wie bereits in Kapitel 3.1.2.2 beschrieben, wurde sechs Monate lang die Außentemperatur in der Kleingartenwohnanlage viertelstündlich gemessen.

Da der Berechnungszeitraum allerdings drei Jahre umfasst, wurden auch die minütlich gemessenen Daten der Wetterstation des Forschungsbereiches für Bauphysik und Schallschutz der Technischen Universität Wien (Adolf-Blamauer-Gasse 1-3, 1030 Wien) sowie die in Intervallen von zwei Sekunden gemessenen und über zehn Minuten gemittelten Werte der Wetterstation der Universität für Bodenkultur Wien (Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien) [UNI16] erhoben (siehe Abb. 12).

Beim Vergleich der Monatsmittelwerte der drei Datensätze hat sich gezeigt, dass die in der Kleingartenwohnanlage gemessenen Werte prinzipiell zwischen den Werten der anderen beiden Wetterstationen liegen (siehe Abb. 13). Der Mittelwert der Wetterstationen weicht in den sechs Vergleichsmonaten maximal um 0,4 K und im Mittel um 0,2 K vom Monatsmittelwert der in der Siedlung gemessenen Werte ab.

Aufgrund dieser geringen Differenz wurde in der adaptierten Energiebedarfsberechnung der Mittelwert der Monatsmittelwerte der Außentemperatur der Boku- und TU-Wetterstationen zur Berechnung herangezogen.

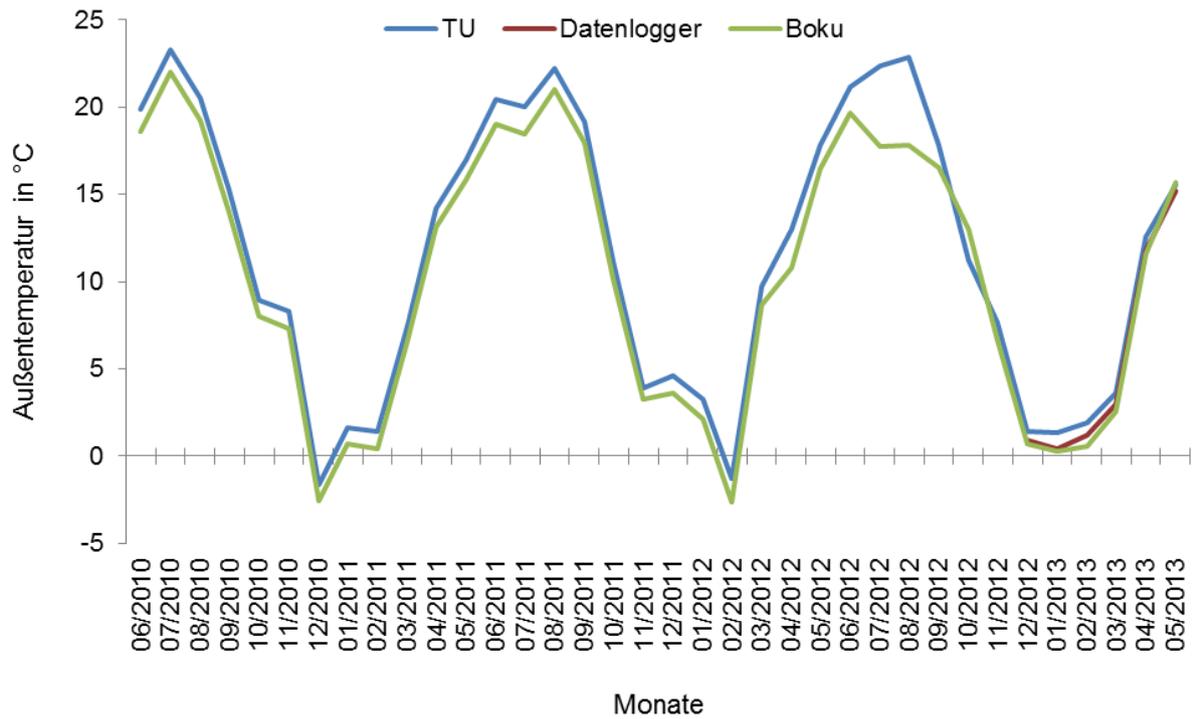


Abb. 12: Während des dreijährigen Beobachtungszeitraumes gemessene Außentemperaturwerte der Wetterstationen der TU und der Boku sowie der in der Kleingartenwohnanlage angebrachten Datenlogger

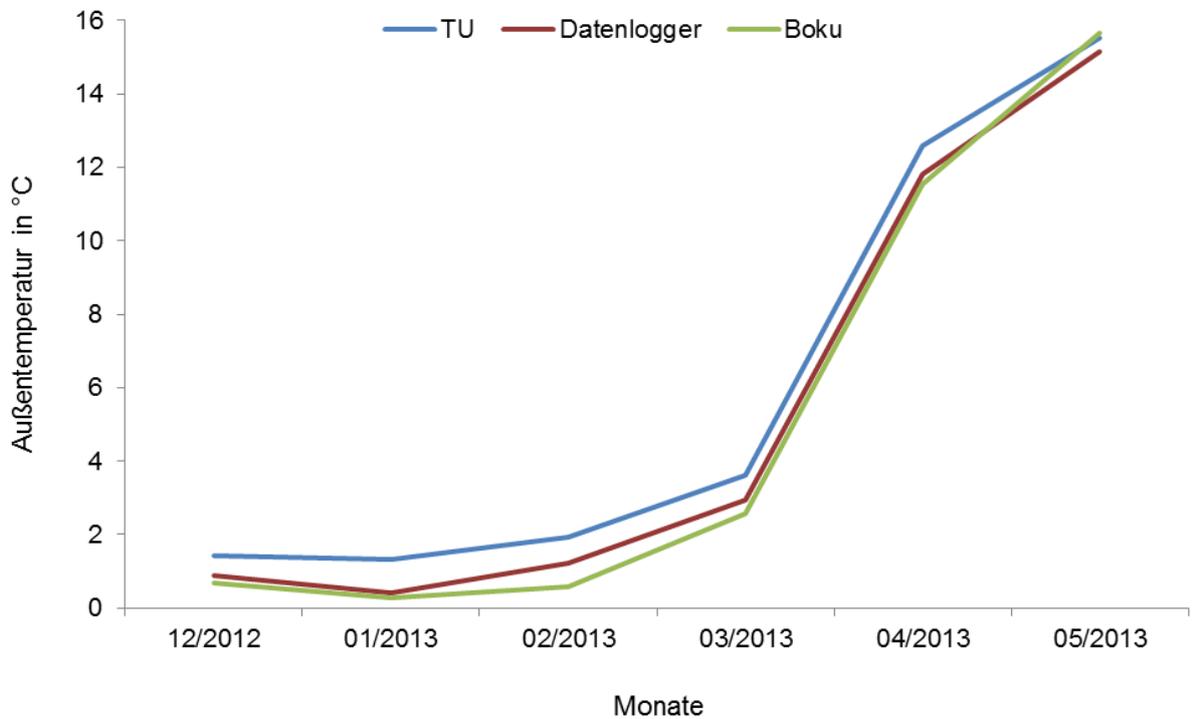


Abb. 13: Näherer Vergleich der in der Kleingartenwohnanlage gemessenen Außentemperaturwerte mit den Daten der Wetterstationen der TU und der Boku

3.8.2.2 Strahlungswerte

Die zur Berechnung der solaren Wärmegewinne nötigen Strahlungswerte wurden der Wetterstation des Forschungsbereiches für Bauphysik und Schallschutz der Technischen Universität Wien (Adolf-Blamauer-Gasse 1-3, 1030 Wien) entnommen.

Gemäß EN ISO 13790 [ENI08, S. 129] muss die Umrechnung von globaler Sonnenstrahlung auf horizontale Flächen in auf vertikale Ebenen verschiedener Ausrichtung einfallende Strahlung nach einem anerkannten Verfahren erfolgen. In der eben genannten Norm ist das Perez-Modell beispielhaft angeführt, welches auch in dieser Arbeit verwendet wurde.

Als Eingangsdaten dienten die Stundenmittelwerte der Direkt- und der Diffusstrahlung, wobei die Global- und die Diffusstrahlung gemessen wurden und die Direktstrahlung als Differenz von Global- und Diffusstrahlung ermittelt wurde. Die Wetterstation liegt auf einer Höhe von 180 m über der Adria und hat die geographischen Koordinaten 48,190° nördliche Breite und 16,393° östliche Länge. Für die Orientierung der 90°-geneigten Fensterflächen wurden die im Lageplan exakt ermittelten Werte 17,43°, 107,43°, 197,43° und 287,43° verwendet.

Die Sonnenstandsberechnung erfolgte nach VDI 6007 [VDI12]. Die Sonnenwahrscheinlichkeit wurde mit 1 angesetzt, was einem wolkenlosen, klaren Himmel entspricht. Aufgrund der Lage der Kleingartenwohnanlage in einem eher ländlichen Raum des Wiener Stadtgebiets wurde von einer reinen, feuchten Atmosphäre ausgegangen. Nachdem alle Häuser von einem Garten umgeben sind, wurde der Bodenreflexionsgrad mit 0,2 angesetzt, was ungefähr einem Albedowert von Rasen oder verwittertem Beton entspricht. Aufgrund der systematischen Anordnung der Häuser in der Anlage kommt es zu keiner gegenseitigen Verschattung der Gebäude, weshalb keine Horizontüberhöhung angenommen wurde. Als Grenzwert der Sonnenhöhe wurde das Limit von 0,6° festgelegt.

3.9 Warmwasserwärmebedarf

Der Warmwasserwärmebedarf Q_{tw} beschreibt die nötige Energiemenge, um das mit ca. 10°C aus der Leitung kommende Wasser auf die gewünschte Warmwassertemperatur von ca. 60°C zu erwärmen.

3.9.1 Warmwasserwärmebedarf in der standardisierten Energiebedarfsberechnung

Der Warmwasserwärmebedarf ist gemäß ÖNORM H 5056 [ÖNO11b] folgendermaßen zu berechnen:

$$Q_{tw} = \frac{1}{1000} \cdot wwwb \cdot BF \cdot d_{Nutz} \quad (38)$$

Q_{tw}	monatlicher Warmwasserwärmebedarf in kWh/M
wwwb	täglicher Warmwasserwärmebedarf bezogen auf die BF in Wh/m ² d
BF	Bezugsfläche in m ²
d_{Nutz}	Nutzungstage in d/M

Laut der Nutzungsprofilabelle in der ÖNORM B 8110-5 [ÖNO11a] gilt für Einfamilienhäuser: wwwb = 35 Wh/m²d sowie $d_{Nutz} = \text{Kalendertage} / M$.

Die Bezugsfläche ist in der ÖNORM B 8110-6 [ÖNO14] für Wohngebäude wie folgt definiert:

$$BF = 0,8 \cdot BGF \quad (39)$$

BF	Bezugsfläche in m ²
BGF	konditionierte Brutto-Grundfläche in m ²

3.9.2 Warmwasserwärmebedarf in der adaptierten Energiebedarfsberechnung

Die Berechnung des Warmwasserwärmebedarfs orientierte sich in der adaptierten Energiebedarfsberechnung an den Grundlagen der Wärmelehre laut dem Lehrbuch „Baukonstruktionslehre 4“ [RIC13, S. 9]:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (40)$$

Q	Wärmemenge in J
c	spezifische Wärmekapazität in J/kgK
m	Masse in kg
ΔT	Temperaturdifferenz in K

Auf Basis der Formel (40) wurde der monatliche Warmwasserwärmebedarf gemäß folgender Formel ermittelt, die einen Faktor zur späteren Optimierung enthält:

$$Q_{tw} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{c_{Wasser}}{3600} \cdot \Delta T_w \cdot wwb \cdot d_{nutz} \cdot f_{vww} \quad (41)$$

Q_{tw}	monatlicher Warmwasserwärmebedarf in kWh/M
c_{Wasser}	spezifische Wärmekapazität von Wasser in J/kgK ($c_{Wasser} = 4186 \text{ J / kgK}$)
3600	Divisor zur Umrechnung von Joule in Wh
ΔT_w	Wassertemperaturdifferenz in K
wwb	Warmwasserbedarf in l/d bzw. Masse in kg/d (1 l Wasser = 1 kg)
d_{Nutz}	Nutzungstage in d/M
f_{vww}	Faktor Warmwasser

Wie schon zu Beginn des Kapitels 3.9 erwähnt, wurde angenommen, dass das aus der Leitung kommende Kaltwasser durchschnittlich um 50 Kelvin erwärmt werden muss, um der gewünschten Warmwassertemperatur zu entsprechen. Somit war für die Wassertemperaturdifferenz $\Delta T_w = 50 \text{ K}$ anzunehmen.

Bei der Anzahl der Nutzungstage pro Monat wurden die in der Datenerhebung ermittelten Abwesenheitszeiten der Bewohner berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3.3.1).

Der tägliche Warmwasserbedarf wurde folgendermaßen ermittelt:

$$wwb = \sum_{WWE} \frac{n_{WWE}}{7} \cdot m_{WWE} \quad (42)$$

wwb	Warmwasserbedarf in l/d bzw. Masse in kg/d (1 l Wasser = 1 kg)
n_{WWE}	Anzahl der Warmwasserentnahmen pro Woche
m_{WWE}	Masse in kg bzw. Warmwasserbedarf in l je Warmwasserentnahme

Die Werte für den Warmwasserbedarf je Warmwasserentnahme wurden laut Tabelle 18 angesetzt und flossen später als Parameter in den Optimierungsprozess ein.

Tabelle 18: Arten und Warmwasserbedarf von Warmwasserentnahmen

Warmwasserentnahme	Abkürzung	m_{WWE} in l
Duschen kurz	Du,ku	25
Duschen mittel	Du,mi	30
Duschen lang	Du,la	35
Bad	Bad	100
Babybad	BBad	10
Putzen	Pu	10
Waschtisch	Wa	7
Kochen	Ko	0
Abwaschen mit Geschirrspüler	Abw.m.GS	15
Abwaschen ohne Geschirrspüler	Abw.o.GS	12

Die Anzahl der Warmwasserentnahmen betreffend Duschen und Baden ($n_{\text{Du,ku}}$, $n_{\text{Du,mi}}$, $n_{\text{Du,la}}$, n_{Bad} , n_{BBad}) wurde je Person erfragt.

Wurde über die Dauer des Duschens keine nähere Aussage getroffen, wurde „Duschen mittel“ als Warmwasserentnahmeart angenommen.

Aufgrund fehlender Erhebungen, ob gemeinsam oder getrennt gebadet wird, wurde in der adaptierten Berechnung von einem gemeinsamen Bad ausgegangen.

Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass pro Haushalt einmal pro Woche geputzt wird: $n_{\text{Pu}} = 1$.

Da die Anzahl der Wasserentnahmen am Waschtisch einen personenbezogenen Faktor in der Ermittlung des Warmwasserbedarfs darstellt, wurde die tägliche Anzahl der Wasserentnahmen am Waschtisch mit der durchschnittlichen Personenanzahl laut Kapitel 3.3.2 gleichgesetzt. Somit wurde für den wöchentlichen Wert $n_{\text{Wa}} = 7 \cdot \bar{n}_{\text{Pers}}$ angenommen.

Bezüglich der drei übrigen Arten der Warmwasserentnahme (n_{Ko} , $n_{\text{Abw.m.GS}}$, $n_{\text{Abw.o.GS}}$) muss zunächst Folgendes erwähnt werden: Die Antworten zur Frage, wie oft in einem Haushalt pro Woche gekocht wird, wurden in der Datenerhebung in drei Kategorien unterteilt: weniger als 7-mal, ungefähr 7-mal, mehr als 7-mal.

Für die Berechnung wurden die Werte für die Anzahl des Kochens pro Woche laut folgender Tabelle eingesetzt und in die Parameterliste zur Optimierung aufgenommen:

Tabelle 19: Untergliederung der Kochanzahl pro Woche und Annahmen für die Berechnung

	Datenerhebung	Berechnung
n_{ko}	$< 7 \text{ x / Wo}$	4 x / Wo
	$\approx 7 \text{ x / Wo}$	7 x / Wo
	$> 7 \text{ x / Wo}$	10 x / Wo

Wie oft pro Woche der Geschirrspüler verwendet wird, wurde in den Interviews erfragt. Bei fehlenden Angaben wurde für $n_{Abw.m.GS}$ der Mittelwert all jener Haushalte gebildet, in denen gleich oft gekocht wurde, da die Anzahl des Abwaschens in einem möglichen Zusammenhang mit der Häufigkeit des Kochens steht.

Zur Ermittlung der Anzahl, wie oft per Hand abgewaschen wird, wurde die Anzahl der Verwendung des Geschirrspülers von der Kochhäufigkeit abgezogen, zumindest wurde aber von einem einmaligen händischen Abwaschen pro Woche ausgegangen:

$$n_{Abw.o.GS} = n_{ko} - n_{Abw.m.GS} \geq 1.$$

3.10 Validierung

Die Validierung des entwickelten Prognosemodells erfolgte durch Vergleich der berechneten mit den realen Energieaufwandsdaten: Anhand der erhobenen Energieabrechnungen des Beobachtungszeitraumes wurde der durchschnittliche, jährliche Gasverbrauch je Gebäude ermittelt und dem durch die adaptierte Berechnung ermittelten Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasser gegenübergestellt.

Um einen einfachen optischen Eindruck der Enge dieses Zusammenhangs zu gewinnen, wurden die Wertepaare in ein kartesisches Koordinatensystem eingetragen und in Form eines Streudiagramms graphisch dargestellt (siehe Abb. 14).

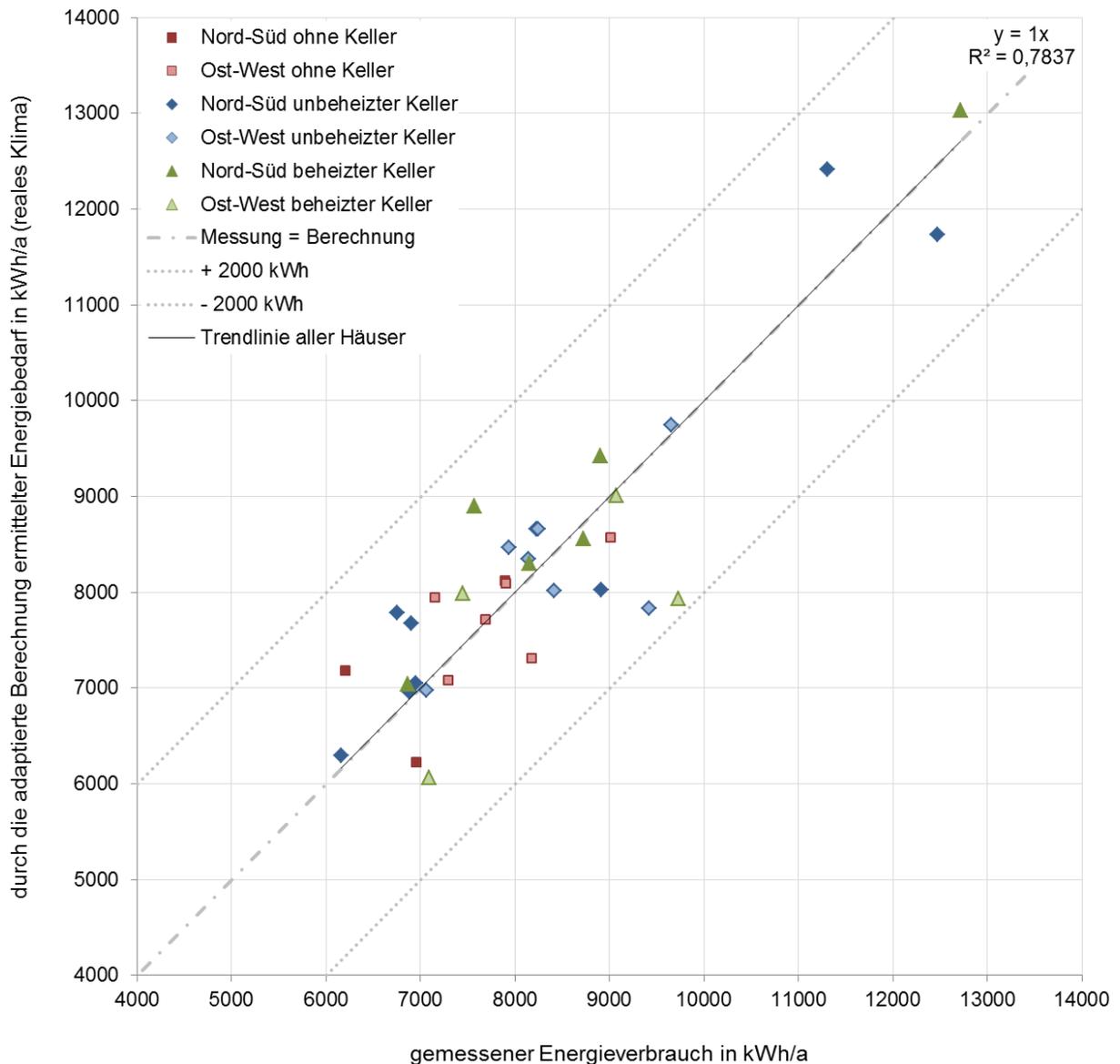


Abb. 14: Vergleich der Ergebnisse der adaptierten Energiebedarfsberechnung und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser

Die strichpunktierte Gerade in Abb. 14 entspricht der Gleichung $y = x$ und wird als 1. Mediane bezeichnet. Liegen Punkte exakt auf dieser Geraden, stimmen die berechneten mit den gemessenen Energieaufwandswerten überein.

Je näher Punkte an der 1. Mediane liegen, umso besser ist die Prognose des tatsächlichen Energieverbrauchs durch die adaptierte Energiebedarfsberechnung. Wie groß der lineare Zusammenhang zwischen den auf der horizontalen und der vertikalen Achse eingetragenen Werten ist, wird durch den Korrelationskoeffizienten r ausgedrückt.

3.10.1 Korrelationskoeffizient r

Der Korrelationskoeffizient r gibt den Grad der linearen Abhängigkeit zweier Merkmale an.

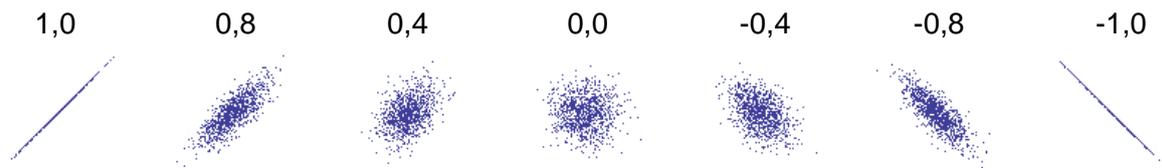


Abb. 15: Korrelationskoeffizient verschiedener Punktwolken [IMA07]

Wie in Abb. 15 ersichtlich, kann der Korrelationskoeffizient Werte zwischen +1 und -1 annehmen. Besteht ein vollständiger linearer Zusammenhang zwischen den beiden betrachteten Merkmalen (d. h. $r=1$ oder $r=-1$), so liegen alle Punkte in einem zweidimensionalen Koordinatensystem auf einer Geraden. Bei einem Wert von 0 weisen die beiden Merkmale überhaupt keine lineare Korrelation auf.

3.10.2 Bestimmtheitsmaß R^2

Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten wird Determinationskoeffizient oder Bestimmtheitsmaß genannt. Es gibt an, wie viel Prozent der Streuung des einen Merkmals durch die Streuung des anderen Merkmals erklärt werden können, und ist somit ein Maß für die Güte des Prognosemodells.

Bei einem Korrelationskoeffizienten von beispielsweise $r=0,4$ beträgt das Bestimmtheitsmaß $R^2=0,16$; das bedeutet, dass 16 % der Streuung durch einen statistischen Zusammenhang erklärt werden.

3.10.3 Ergebnis der Validierung

Das in Abb. 14 angegebene Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,7837$ zeigt also, dass die in der vorliegenden Arbeit präsentierte adaptierte Berechnung den tatsächlichen Energieverbrauch zu 78,37 % prognostizieren kann.

3.11 Optimierung

Um das entwickelte Prognosemodell weiter verbessern zu können, wurden insgesamt 38 Optimierungsparameter in die adaptierte Energiebedarfsberechnung integriert. Die Ausgangswerte dieser Variablen wurden nacheinander so angepasst, dass das Bestimmtheitsmaß jeweils den maximal möglichen Wert annimmt. Dieser Optimierungsprozess wird im Folgenden anhand eines ausgewählten Parameters dargestellt.

In Kapitel 3.4.2.2.1 wurde die Öffnungsdauer der Fenster des Typs OG $\tau_{\text{Öffnen,OG}}$ mit 5 Minuten angenommen. Nachdem seitens der Bewohner selten genaue Angaben über die Dauer des Stoßlüftens getroffen werden konnten, wurde dieser Faktor in die Liste der variablen Parameter zur Optimierung aufgenommen.

Die Ausgangswerte waren also $\tau_{\text{Öffnen,OG}} = 5$ min und ein Bestimmtheitsmaß von 0,7837 (siehe Abb. 14). Im Optimierungsprozess wurde nun die Öffnungsdauer so lange variiert, bis das Bestimmtheitsmaß sein Maximum erreichte (siehe Tabelle 20 sowie Abb. 16). Der maximale Wert des Bestimmtheitsmaßes war 0,7860, der bei einer Öffnungsdauer von 7 Minuten erreicht wurde. Somit ist $\tau_{\text{Öffnen,OG}} = 7$ min der optimierte Wert dieses Parameters.

Tabelle 20: Änderungen des Bestimmtheitsmaßes durch Variation des Parameters $\tau_{\text{Öffnen,OG}}$

$\tau_{\text{Öffnen,OG}}$ in min	R ²
4,0	0,7806
4,5	0,7823
5,0	0,7837
5,5	0,7848
6,0	0,7855
6,5	0,7859
7,0	0,7860
7,5	0,7859
8,0	0,7854
8,5	0,7847
9,0	0,7838
9,5	0,7825
10,0	0,7811

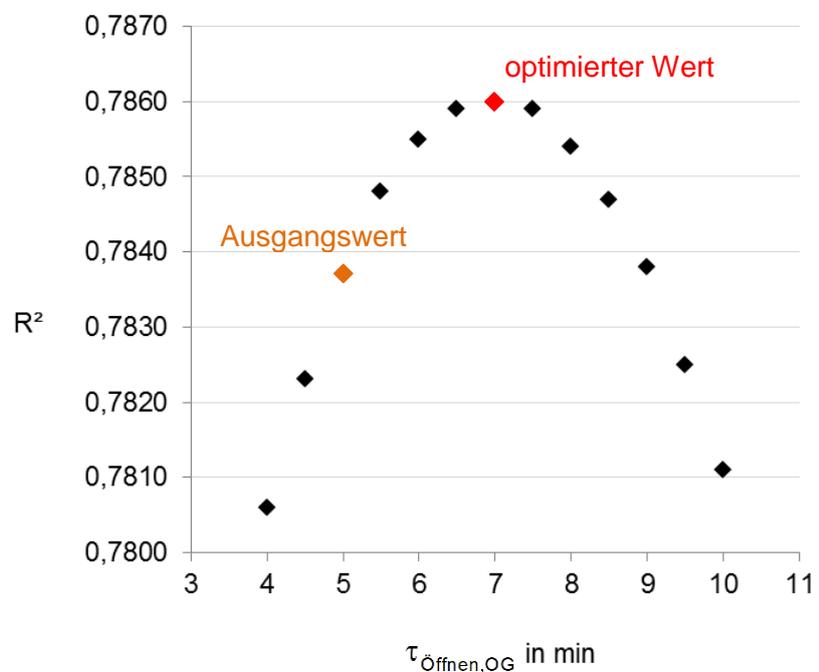


Abb. 16: Graphische Darstellung der Änderungen des Bestimmtheitsmaßes durch Variation des Parameters

$\tau_{\text{Öffnen,OG}}$

Das in Abb. 17 dargestellte Streudiagramm zeigt den selben Vergleich der gemessenen und berechneten Energieaufwandswerte wie Abb. 14, allerdings nach der Optimierung des Parameters $\tau_{\text{Öffnen,OG}}$; die Werte aller anderen Variablen blieben unverändert. Die minimale Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes im Vergleich zu Abb. 14 ist mit freiem Auge anhand der veränderten Punktwolke nicht erkennbar. Dieser Umstand erklärt die hohe Relevanz von R² für den Optimierungsprozess.

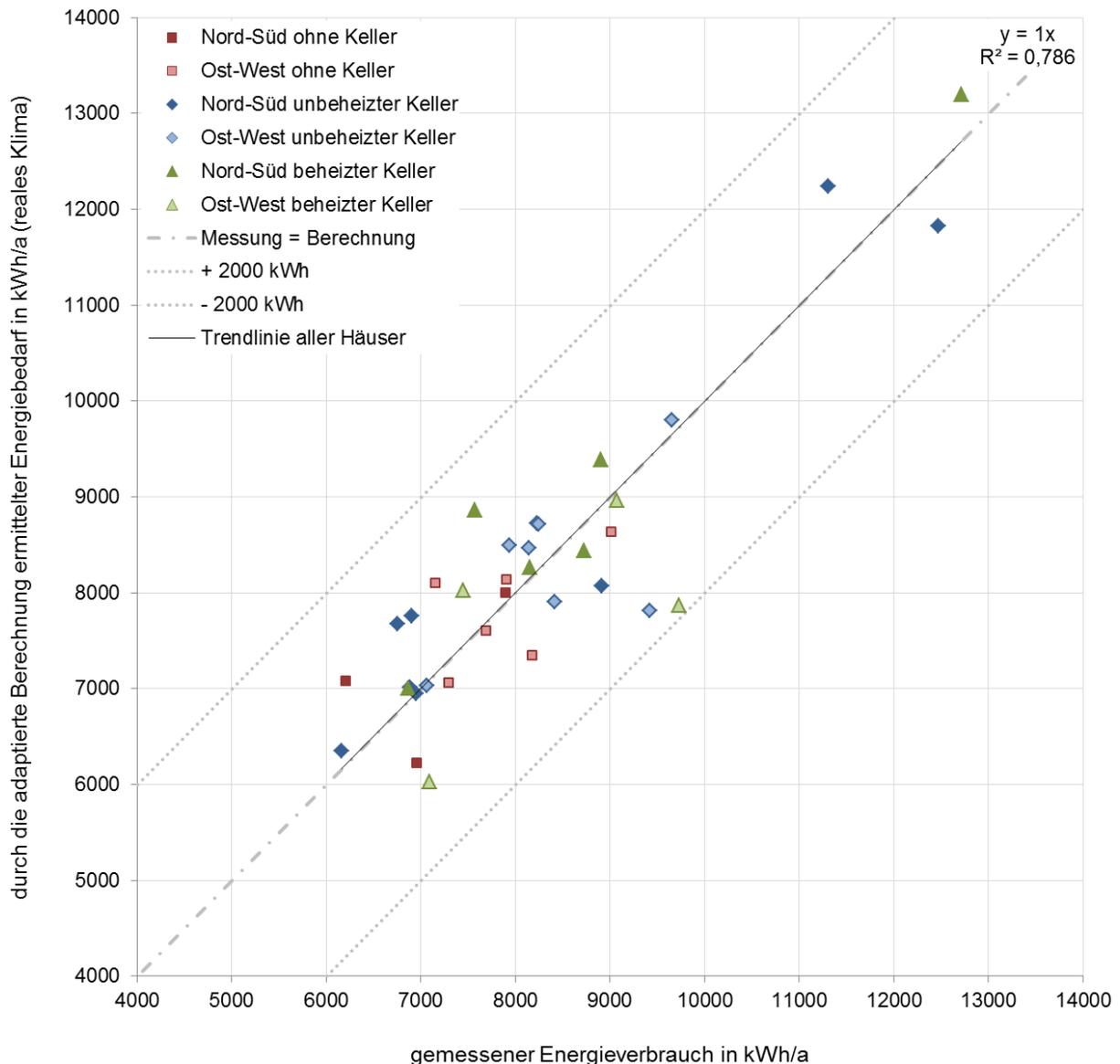


Abb. 17: Vergleich der Ergebnisse der adaptierten Energiebedarfsberechnung und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser nach Optimierung des Parameters $\tau_{\text{Öffnen,OG}}$

Analog zu dem oben angeführten Beispiel wurde jeder Parameter bei gleich bleibenden Ausgangswerten aller anderen Variablen separat optimiert, um seine Auswirkungen auf das Berechnungsergebnis festzustellen.

Da allerdings die Variation eines Parameters durch die geänderte Ausgangssituation die Maxima der anderen Variablen verlagert, mussten die Parameter Nr. 1 bis 37 nacheinander optimiert werden. Gemäß den Erkenntnissen der separaten Optimierung wurde versucht, eine sinnvolle Reihenfolge festzulegen. Der gesamte Optimierungsprozess wurde nach insgesamt drei Durchgängen beendet, da in weiterer Folge keine wesentliche Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes mehr erzielt werden konnte.

Da die Energieaufwandszahl (Parameter Nr. 0) für alle Häuser gleich ist, verändert eine

Variation dieses Parameters nicht die Lage der Punkte zueinander, sondern die Steigung der Trendlinie aller Häuser. Aus diesem Grund wurde die Energieaufwandszahl nach jedem Optimierungsschritt derart angepasst, dass die Trendlinie aller Häuser und die 1. Mediane kongruent sind.

In Tabelle 21 sind alle Optimierungsparameter kapitelweise aufgelistet; die Nummerierung gibt die Reihenfolge an, in der die Variablen optimiert wurden. In der vorletzten Spalte sind die Ausgangswerte der Parameter eingetragen, durch die ein Bestimmtheitsmaß von 0,7837 erreicht wurde (siehe Abb. 14). Die letzte Spalte zeigt die sich aus dem Optimierungsprozess ergebenden Werte, die zu einer Steigerung von R^2 auf 0,953 führten.

Tabelle 21: Liste aller Optimierungsparameter, deren Reihenfolge im Optimierungsprozess, deren Abkürzungen und Einheiten sowie deren Ausgangswerte und optimierte Werte

Nr.	Abkürzung	Optimierungsparameter	Einheit	Kapitel	Ausgangswerte	optimierte Werte
0	$e_{EAWZ, Gas}$	Energieaufwandszahl für Erdgas	-	3.2.2	1,3848	1,4576
37	$\bar{\tau}_{Url, So}$	durchschnittliche Dauer des Sommerurlaubs	d/a	3.3.3.1	7	33,5
36	$\bar{\tau}_{Url, Wi}$	durchschnittliche Dauer des Winterurlaubs	d/a	3.3.3.1	7	10,85
19	$f_{Lüftung}$	Faktor Lüftung	-	3.4.2	1	1,14
16	$f_{Öffnen}$	Faktor Fensteröffnen	-	3.4.2	1	0,1105
15	f_{Kippen}	Faktor Fensterkippen	-	3.4.2	1	2,66
17	$f_{Ventilator, Bad}$	Faktor Ventilator im Bad	-	3.4.2	1	0,47
18	$f_{Ventilator, WC}$	Faktor Ventilator im WC	-	3.4.2	1	225
4	$\tau_{Öffnen, OG}$	Öffnungsdauer der Fenster des Typs OG	min	3.4.2.2.1	5	0,1
5	$\tau_{Öffnen, EG}$	Öffnungsdauer der Fenster des Typs EG	min	3.4.2.2.1	5	6,25
6	$\tau_{Öffnen, KG, beh.}$	Öffnungsdauer der Fenster des Typs KG in beheizten Kellern	min	3.4.2.2.1	5	0
7	$\tau_{Öffnen, KG, unbeh.}$	Öffnungsdauer der Fenster des Typs KG in unbeheizten Kellern	min	3.4.2.2.1	5	0
10	$f_{g, oK}$	Faktor für erdberührte Bauteile bei Häusern ohne Keller	-	3.5.2	1,1	1,28
8	$f_{g, mKu}$	Faktor für erdberührte Bauteile bei Häusern mit unbeheiztem Keller	-	3.5.2	1,1	1,0155
9	$f_{g, mKb}$	Faktor für erdberührte Bauteile bei Häusern mit beheiztem Keller	-	3.5.2	1,1	1,078
35	f_{Strom}	Faktor Strom	-	3.6.2.1	1	0,742
20	k_{ϑ_i}	Wert zur Korrektur der Innentemperatur aller Häuser	K	3.7.2.1	0	1,465
1	$k_{\vartheta_i, Bew}$	Wert zur Korrektur der Innentemperatur laut Bewohnerangaben	K	3.7.2.1	-1,5	-1,5
33	$\tau_{Heiz., red.}$	Reduktion der Heizdauer	h/d	3.7.2.2	8	8,805

34	$k_{\text{Absenk.}}$	Wert zur Korrektur der Absenkttemperatur	K	3.7.2.3	0	0
2	$\Delta T_{\text{Absenk.}}$	Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Absenkttemperatur	K	3.7.2.3	2	1,9
3	f_{WW}	Faktor Warmwasser	-	3.9.2	1	0,889
12	$m_{\text{Du,ku}}$	Warmwasserbedarf je kurzes Duschen	l	3.9.2	25	38,15
11	$m_{\text{Du,mi}}$	Warmwasserbedarf je mittleres Duschen	l	3.9.2	30	38,4
13	$m_{\text{Du,la}}$	Warmwasserbedarf je langes Duschen	l	3.9.2	35	22,9
14	m_{Bad}	Warmwasserbedarf je Bad	l	3.9.2	100	83,15
24	m_{BBad}	Warmwasserbedarf je Babybad	l	3.9.2	10	33
23	m_{Pu}	Warmwasserbedarf je Putzen	l	3.9.2	10	-77,5
25	m_{Wa}	Warmwasserbedarf je Waschen am Waschtisch	l	3.9.2	7	-3
26	m_{Ko}	Warmwasserbedarf je Kochen	l	3.9.2	0	5,4
21	$m_{\text{Abw.m.GS}}$	Warmwasserbedarf je Abwaschen mit Geschirrspüler	l	3.9.2	15	0
22	$m_{\text{Abw.o.GS}}$	Warmwasserbedarf je Abwaschen ohne Geschirrspüler	l	3.9.2	12	53,9
27	$n_{\text{Ko}<7x/Wo}$	Kochanzahl pro Woche, < 7 x / Wo	-	3.9.2	4	4,63
28	$n_{\text{Ko}>7x/Wo}$	Kochanzahl pro Woche, > 7 x / Wo	-	3.9.2	10	10,7
31	$\tau_{\text{Du,ku}}$	Dauer je kurzes Duschen	min	3.9.2	5	26
29	$\tau_{\text{Du,mi}}$	Dauer je mittleres Duschen	min	3.9.2	10	25
30	$\tau_{\text{Du,la}}$	Dauer je langes Duschen	min	3.9.2	15	12
32	τ_{Bad}	Dauer je Bad	min	3.9.2	30	-16

4 Ergebnisse

Alle Abbildungen in diesem Kapitel zeigen jeweils einen Vergleich des durch die standardisierte oder adaptierte Energiebedarfsberechnung ermittelten und des tatsächlich gemessenen, jährlichen Energieaufwands für Raumheizung und Warmwasser der 35 untersuchten Kleingartenwohnhäuser.

Abb. 18 präsentiert die Gegenüberstellung des durch das standardisierte Verfahren mit Standortklima berechneten und des faktischen, jährlichen Energieaufwands. Die horizontalen Linien symbolisieren somit die Ergebnisse der Energieausweise der verschiedenen Gebäudetypen: Sie zeigen, dass das standardisierte Berechnungsverfahren für einen Gebäudetyp immer dasselbe Ergebnis liefert, da dieses Rechenmodell das individuelle Nutzerverhalten nicht berücksichtigt. Die kleinen, vertikalen Abweichungen der einzelnen Punkte von den Geraden sind durch die zwei unterschiedlichen Fassadentypen der Untersuchungsobjekte bedingt.

Die weite Streuung der Punkte entlang der horizontalen Linien zeigt die große Varianz des tatsächlichen Energieverbrauchs, die sich durch die unterschiedlichen Nutzungseinflüsse ergibt. Die größte Abweichung des faktischen Energieverbrauchs vom Ergebnis des standardisierten Berechnungsverfahrens findet sich in der Kategorie der Nord-Süd-orientierten Häuser mit unbeheiztem Keller und beträgt 162 %.

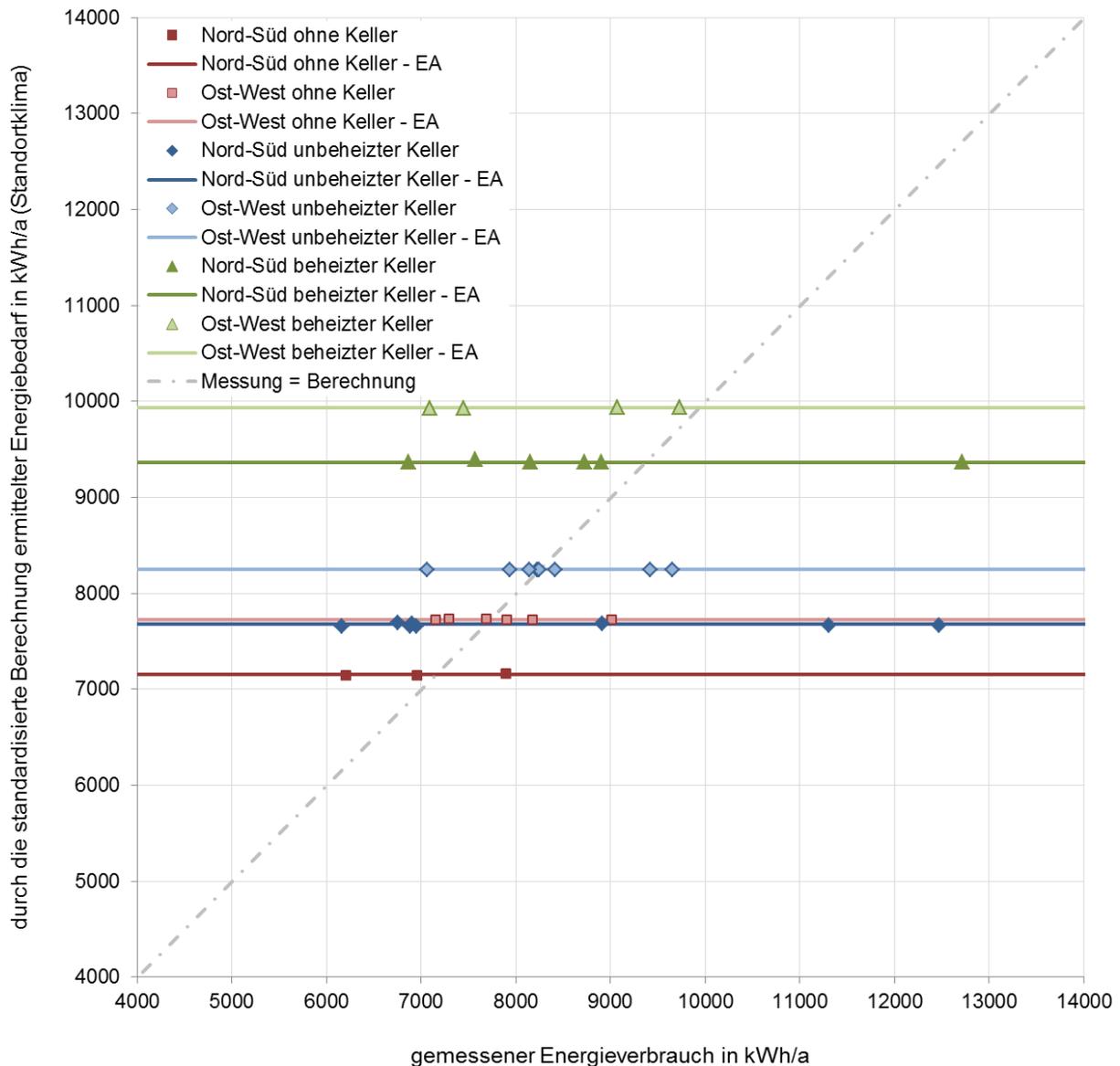


Abb. 18: Vergleich der Ergebnisse der standardisierten Energiebedarfsberechnung mit Standortklima und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser. Die horizontalen Linien symbolisieren die Ergebnisse der Energieausweise der verschiedenen Gebäudetypen.

Abb. 19 zeigt wieder den Vergleich des durch das standardisierte Verfahren ermittelten und des tatsächlich gemessenen, jährlichen Energieaufwands, allerdings wurden zur Berechnung anstelle des Standortklimas die realen, gemessenen Klimadaten herangezogen. Im Vergleich zu Abb. 18 ist die vertikale Verschiebung der horizontalen Linien aufgrund der unterschiedlichen Klimadaten deutlich zu erkennen.

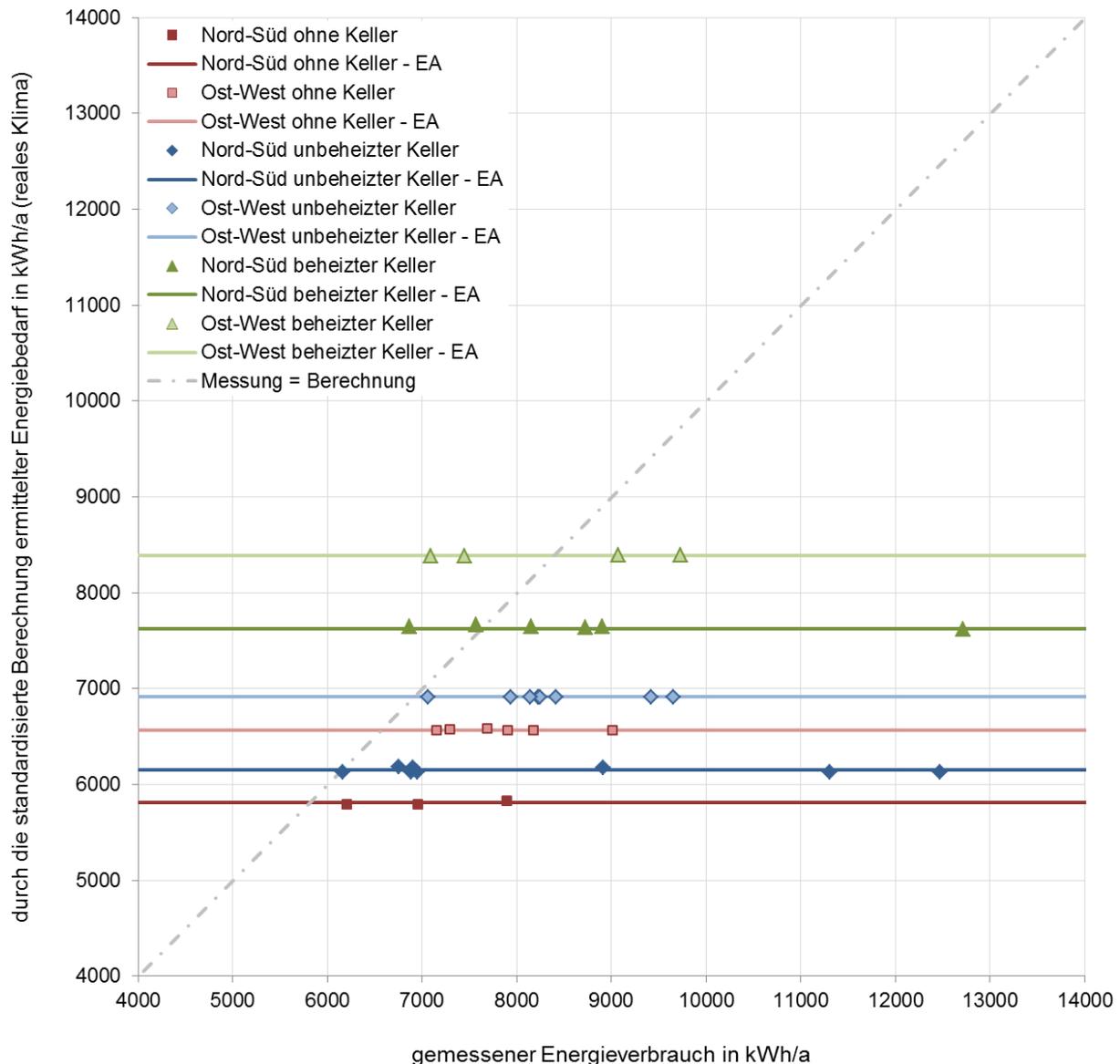


Abb. 19: Vergleich der Ergebnisse der standardisierten Energiebedarfsberechnung mit realem Klima und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser. Die horizontalen Linien symbolisieren die Ergebnisse der Energieausweise der verschiedenen Gebäudetypen bei Verwendung des realen Klimas.

Abb. 20 zeigt schließlich den Vergleich des durch das nutzerorientierte und optimierte Prognosemodell berechneten und des tatsächlich gemessenen, jährlichen Energieaufwands. Das Bestimmtheitsmaß von 0,953 gibt an, dass die in der vorliegenden Arbeit präsentierte, adaptierte Berechnung den tatsächlichen Energieverbrauch zu 95,3 % prognostizieren kann.

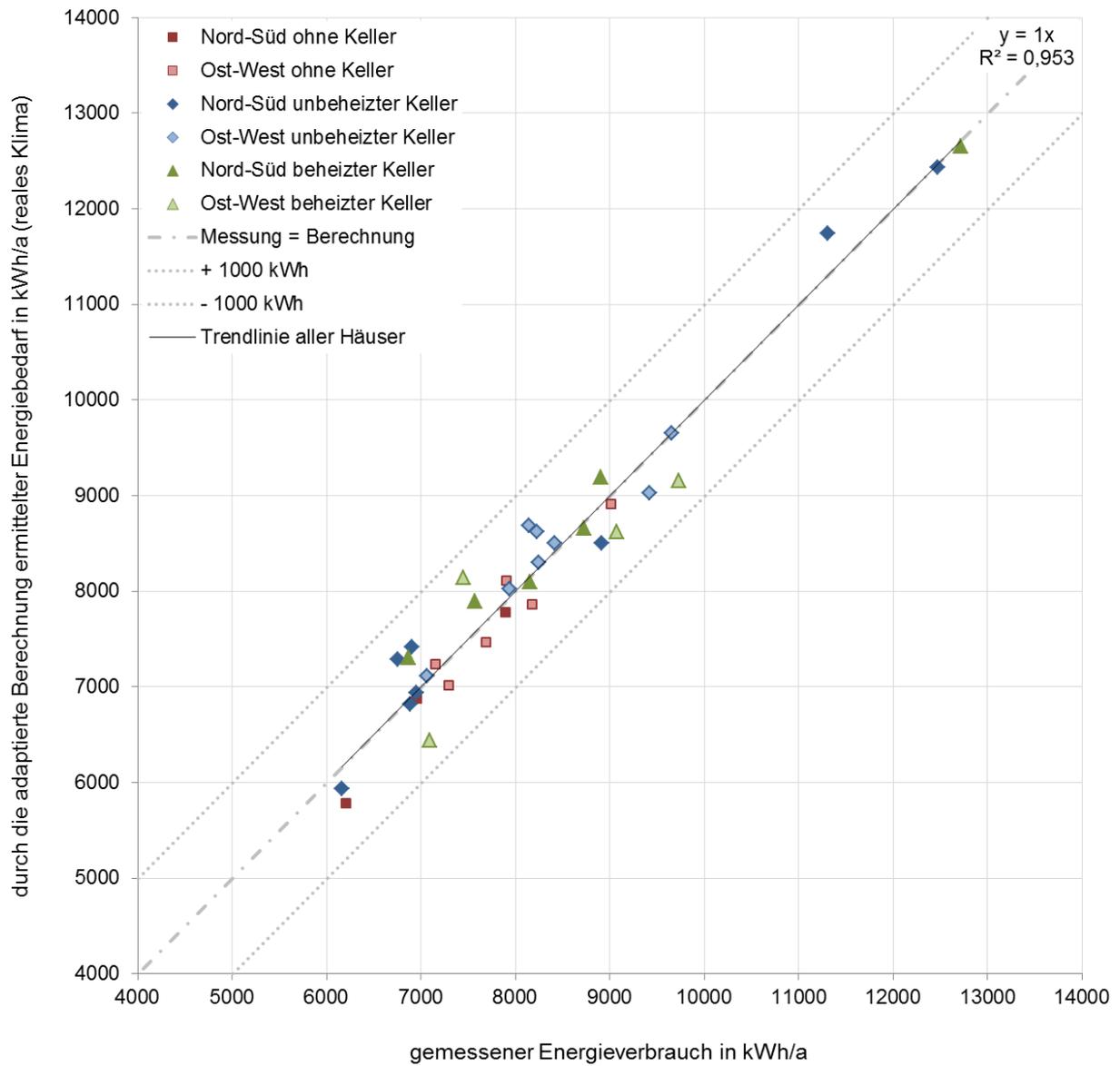


Abb. 20: Vergleich der Ergebnisse der adaptierten Energiebedarfsberechnung und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser

5 Diskussion

5.1 Ergebnisinterpretation und Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit ging der Frage nach, ob durch Berücksichtigung der individuellen Nutzung und des realen Außenklimas in einer modifizierten Energiebedarfsberechnung eine bessere Prognose des tatsächlichen Energieverbrauchs erzielt werden kann als mittels des derzeit angewandten, genormten Rechenverfahrens zur Erstellung von Energieausweisen. Ziel war, das Berechnungsverfahren des standardisierten Energieausweises derart zu modifizieren, dass alle erhobenen Daten berücksichtigt werden konnten und somit ein Prognosemodell zur Abschätzung des tatsächlichen, individuellen Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser entstand.

Die durch das adaptierte Berechnungsverfahren ermittelten Werte weisen eine sehr hohe Korrelation zu den faktischen Daten auf ($R^2 = 0,953$). Das entwickelte Energiebedarfsberechnungsmodell zeigt somit, dass eine gute Prognose des tatsächlichen, individuellen Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser im Einfamilienhausbereich durch das Monatsbilanzverfahren möglich ist, sofern die verschiedenen Nutzerverhalten und das reale Außenklima in der Berechnung Berücksichtigung finden.

Aufgrund der baugleichen Ausführung der einzelnen untersuchten Kleingartenwohnhaustypen gibt außerdem die große Streubreite des faktischen Energieverbrauchs je Haustyp Aufschluss über den Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieaufwand in diesem Gebäudesektor. Die in der EN ISO 13790 [ENI08] angegebenen Abweichungen von 50 % bis 150 % vom berechneten Mittelwert werden in den untersuchten Fällen mit maximal 162 % sogar noch übertroffen.

In der vorliegenden Studie konnte auch die im Forschungsbericht [BED14] beschriebene Tatsache beobachtet werden, dass sich gleiche Nutzer in derselben Umgebung unterschiedlich verhalten, wenn sich bestimmte Einflussfaktoren ändern. Im Rahmen der Interviews hat sich herausgestellt, dass Änderungen der Nutzergewohnheiten nach der Geburt von Babys besonders ausgeprägt waren: In einigen Haushalten kam es dadurch zu einer Anhebung der bevorzugten Innenraumtemperatur und zu einer Reduktion der Lüftungshäufigkeit und -dauer.

Die Auswirkungen verschiedener, nutzerbezogener Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch von Gebäuden können anhand des entwickelten Prognosemodells analysiert werden. Durch Variation einzelner Parameterwerte ist das Ausmaß ihres Einflusses auf die Berechnung im Ergebnisdiagramm ersichtlich.

Dadurch zeigt die Arbeit auf, welche Nutzergewohnheiten möglicherweise relevant sind und von Energieberatern und Gebäudeplanern erfragt werden können, um die Zweckmäßigkeit von Gebäudesanierungskonzepten beurteilen oder kostenoptimierte Neubauten entwickeln zu können. Auch wenn nicht immer alle nutzerbezogenen Parameter bekannt sind, sollte es durch das adaptierte Berechnungsmodell trotzdem möglich sein, an den Nutzer angepasste Planungsentscheidungen zu treffen.

5.2 Fehleranalyse, Empfehlungen und Ausblick

Obwohl für eine allgemein gültige Beantwortung der zentralen Fragestellung eine repräsentative Anzahl und Varianz der untersuchten Studienobjekte in der vorliegenden Arbeit nicht gegeben ist, kann das präsentierte Prognosemodell trotzdem eine Basis für weiterführende Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet darstellen:

Durch Anwendung auf weitere, möglichst vielfältige Bauten im untersuchten Gebäudesektor kann die Berechnungsmethodik weiterentwickelt und verbessert werden. Einfamilienhäuser anderer Bauweisen, anderen Baujahrs, mit anderen Heizsystemen, in anderen Klimazonen und auf anderer Seehöhe würden den bestehenden Datensatz sinnvoll ergänzen.

Eine größere Anzahl an Untersuchungsobjekten bietet natürlich auch die Möglichkeit, aussagekräftigere Rückschlüsse über die Relevanz einzelner Faktoren auf den Energieverbrauch zu ziehen. Um den Einfluss der einzelnen Variablen auf das Ergebnis zu analysieren, wäre eine Parameterstudie von Nutzen, mit deren Hilfe zukünftig auch eine sinnvolle Optimierungsreihenfolge festgelegt werden könnte.

Die aus dem Optimierungsprozess hervorgegangenen Werte der einzelnen Parameter können Aufschluss geben, in welchen Bereichen der Berechnung die Abbildung des Nutzerverhaltens mehr oder weniger erfolgreich war. Insbesondere die Abbildung des Warmwasserbedarfs und der mechanischen Lüftung zeigen Entwicklungspotential. Eine einfachere und vor allem hundertprozentig realitätsnahe Erhebung von Warmwasserverbrauchsdaten wäre mittels eigener Wasserzähler für Warmwasser möglich, die allerdings vorwiegend in Mehrfamilienhäusern installiert sind. Möglicherweise könnte sich die Warmwasserbedarfsermittlung im Einfamilienhaussektor an Wohnungen in Mehrfamilienhäusern orientieren, die eine ähnliche Wohnnutzfläche besitzen und von einer vergleichbaren Anzahl an Personen genutzt werden.

Außerdem konnten noch folgende Rückschlüsse zur Verbesserung der Datenerhebung und -auswertung in Bezug auf das entwickelte Prognosemodell getroffen werden:

Im Bereich Warmwasser sollte erfragt werden, ob gemeinsam oder getrennt gebadet wird und ob ein Vollbad genommen wird oder die Wanne (etwa für Kinder) nur halb gefüllt wird.

Ferner kann die Einteilung des Duschens in kurz, mittel und lang entfallen, da die ungefähre Duschkdauer ohnehin in Minuten erfragt werden sollte und mit einer Durchflussmenge pro Minute multipliziert werden kann, um den Warmwasserbedarf zu ermitteln.

Aufgrund der Durchführung der persönlichen Gespräche vor Ort, besteht für Interviewer die Möglichkeit, auf besondere Gewohnheiten der Bewohner aufmerksam zu werden und gezielt nachzufragen.

Spezielles Augenmerk sollte etwa auf die Nutzung nicht konditionierter Gebäudeteile gelegt werden. Zur genauen Ermittlung der inneren Wärmegewinne ist es nicht ausreichend, die Personenanwesenheit „zu Hause“ zu erheben und die komplette Stromabrechnung ohne Abzüge heranzuziehen. Werden unbeheizte Gebäudeteile als Aufenthalts- oder sogar Schlafräume genutzt, so sollte dies bei der Berechnung der inneren Wärmegewinne durch Personen berücksichtigt werden. Auch die Verwendung von elektrischen Geräten in nicht konditionierten Gebäudeteilen kann enorme Auswirkungen auf die inneren Gewinne haben, besonders wenn es sich um Geräte mit hoher Leistung (wie zum Beispiel elektrische Heizstrahler) oder um Haushaltsgeräte im Dauerbetrieb (wie etwa Gefrierschränke) handelt.

Ein weiterer interessanter Aspekt, der im Zuge der Interviews beobachtet werden konnte, ist die dauerhafte Verschattung von Fensterflächen auch im Winter. Als Sicht- oder Einbruchschutz wurden manche verglasten Elemente durch nicht komplett geschlossene Außenlamellen oder im Inneren durch Bambusmatten oder mehrere dichtgewebte Vorhangschichten abgedeckt.

Anders als bei der Berechnung für den Kühlfall wird bei der standardisierten Ermittlung der solaren Einträge im Heizfall der Abminderungsfaktor z für bewegliche Sonnenschutzrichtungen nicht berücksichtigt; ausschließlich bauliche Verschattungen oder Horizontüberhöhungen werden angerechnet. Zur realitätsgetreuen Ermittlung der solaren Wärmegewinne sollten deshalb auch im Heizfall bewegliche Sonnenschutzrichtungen berücksichtigt werden.

Die Erhebung von Nutzerverhalten samt Änderungen über einen dreijährigen Zeitraum hat gezeigt, dass die Angaben immer unkonkreter wurden, je länger der erfragte Zeitpunkt zurücklag. Bei längeren Beobachtungsperioden (über mehrere Jahre) wäre es deshalb ratsam, anstatt einer einzigen Datenerhebung für den gesamten Zeitraum jährliche Datenerhebungen durchzuführen.

Da zur Ermittlung der Nutzergewohnheiten sowohl Fragebögen ausgeteilt als auch persönliche Interviews durchgeführt wurden, war ein Vergleich der erhobenen Bewohnerangaben der beiden Befragungsmethoden möglich. Dabei zeigten sich zum Teil voneinander abweichende Angaben, die darauf zurückzuführen sein könnten, dass Fragebogen und Interview von unterschiedlichen Bewohnern eines Haushalts beantwortet wurden. Bei zukünftigen

Datenerhebungen wäre es deshalb eventuell sinnvoll, nicht nur eine Person pro Haushalt, sondern alle erwachsenen Bewohner einer Wohneinheit gemeinsam zu befragen.

Anhang A Gebäudepläne

A.1 Grundrisse

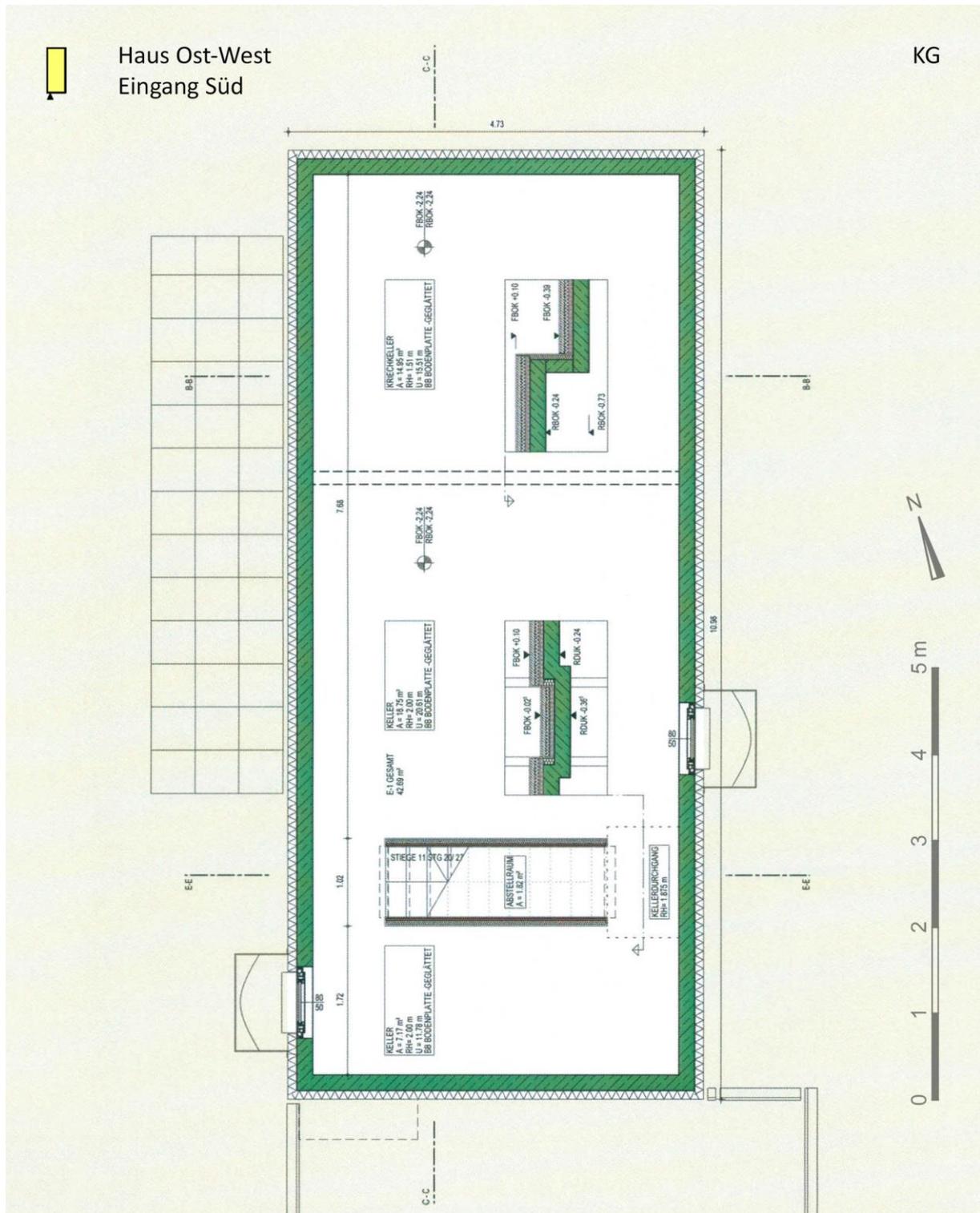


Abb. 21: Grundriss Kellergeschoß, Haus Ost-West Eingang Süd (Typ A) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

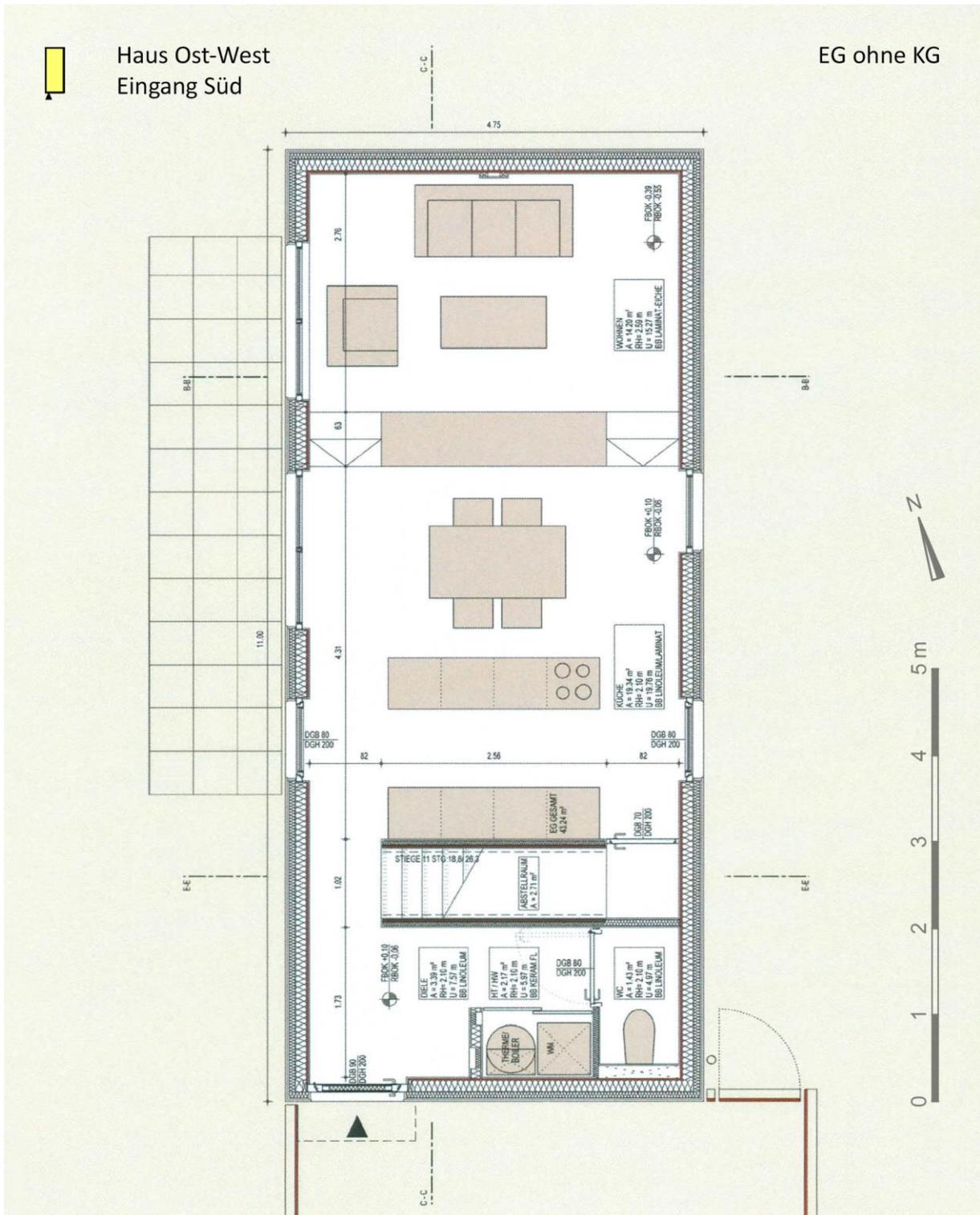


Abb. 23: Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Ost-West Eingang Süd (Typ A) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

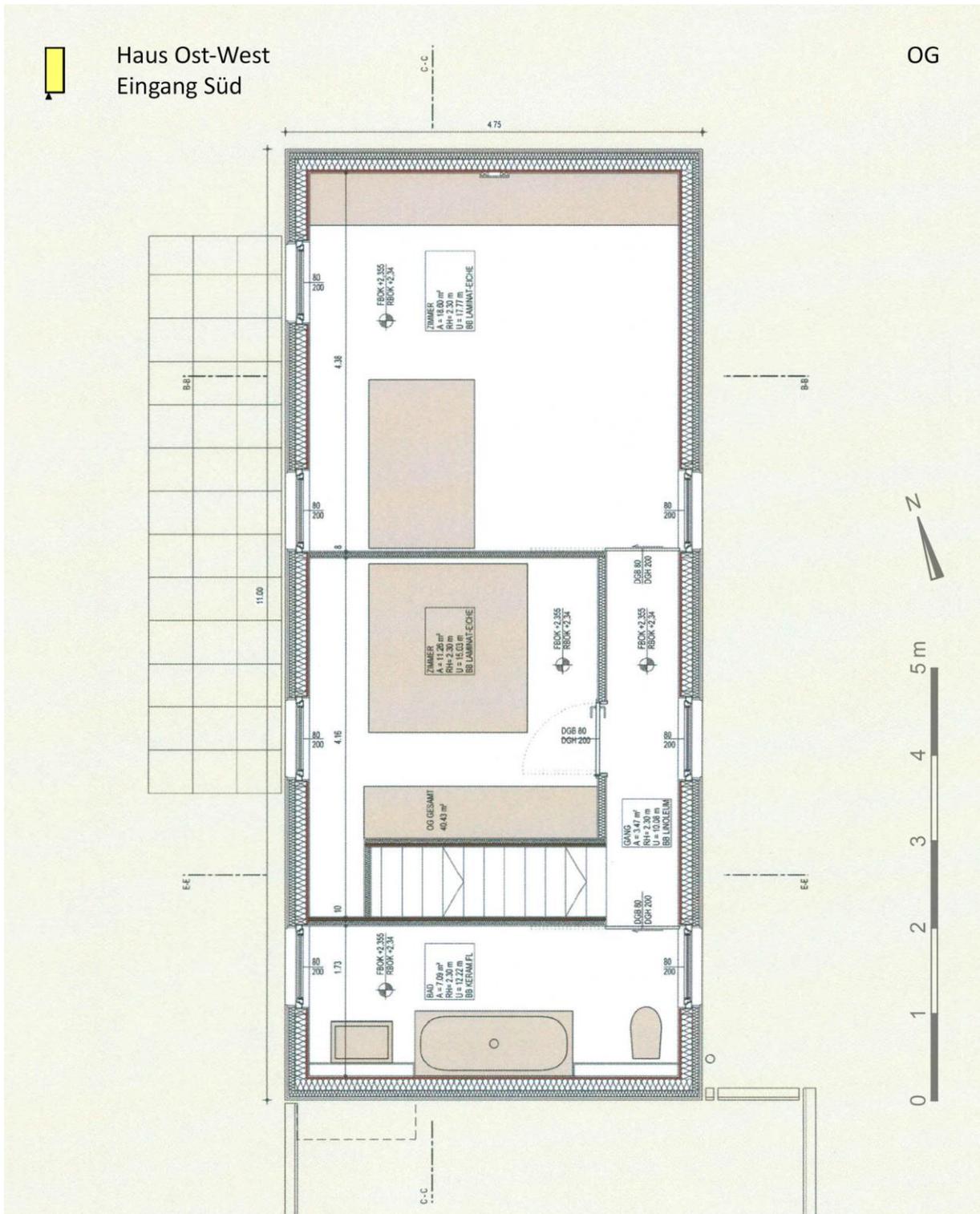


Abb. 24: Grundriss Obergeschoß, Haus Ost-West Eingang Süd (Typ A)
(nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

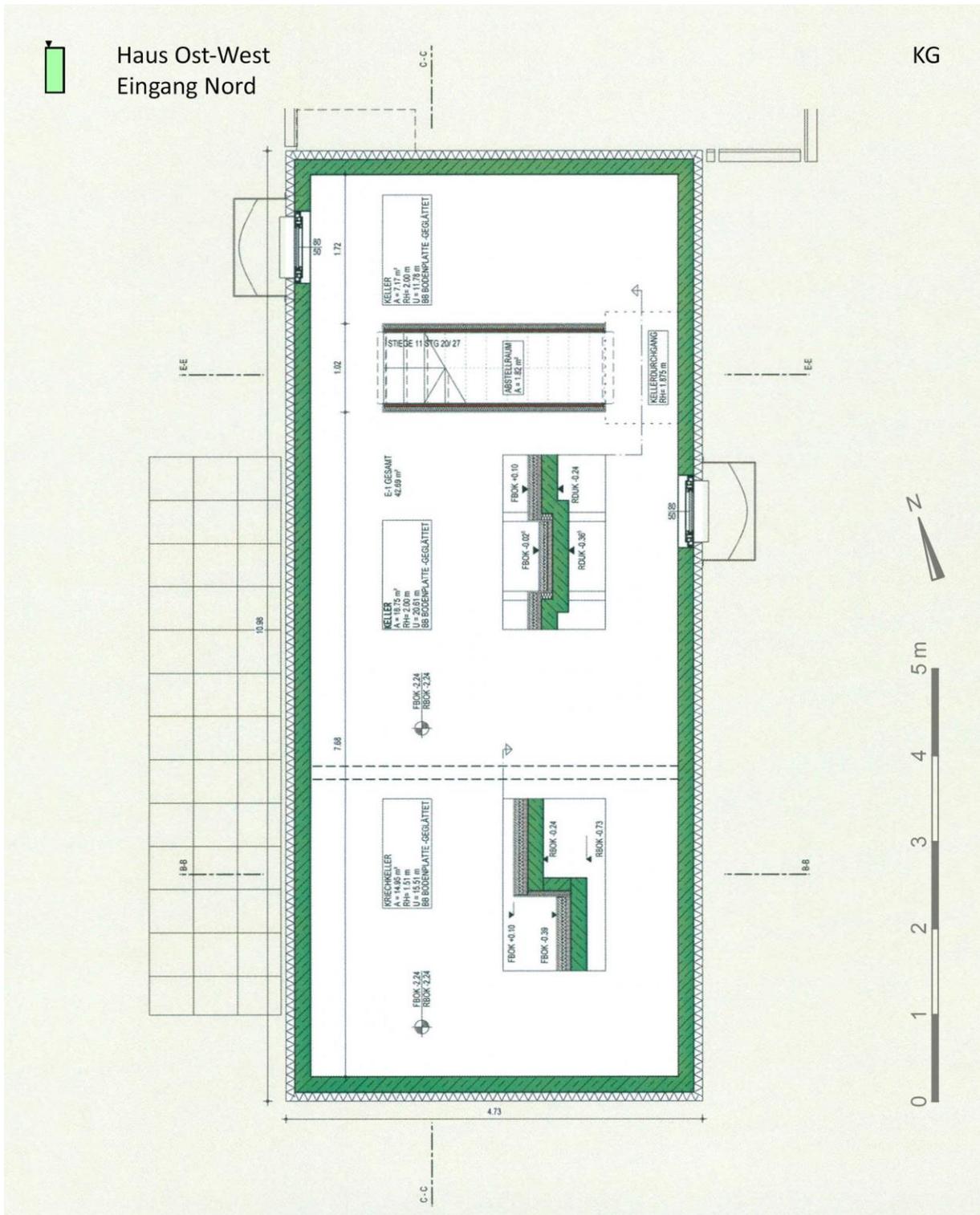


Abb. 25: Grundriss Kellergeschoß, Haus Ost-West Eingang Nord (Typ D)
 (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutz-
 gründen vorenthalten wird)

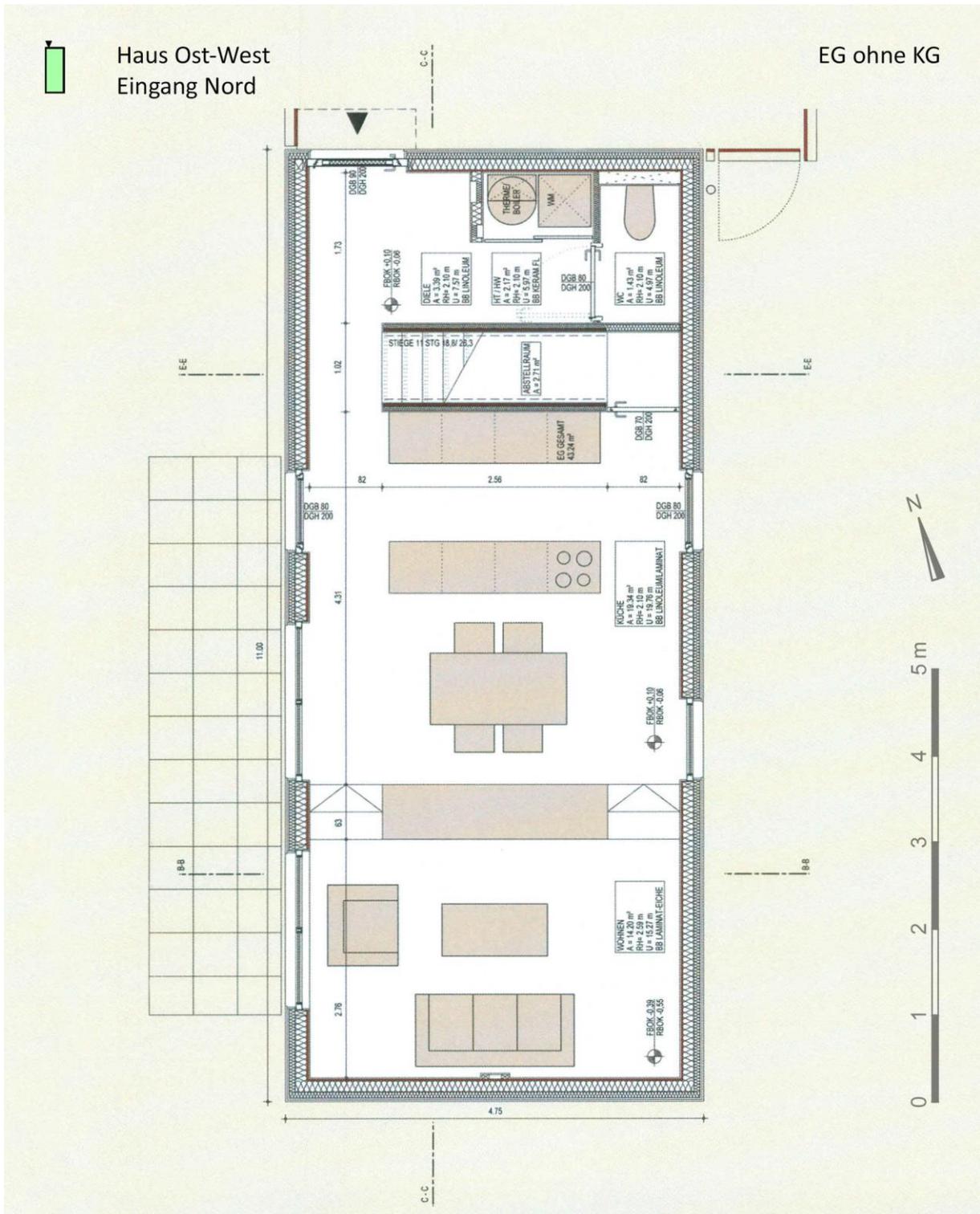


Abb. 27: Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Ost-West Eingang Nord (Typ D) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

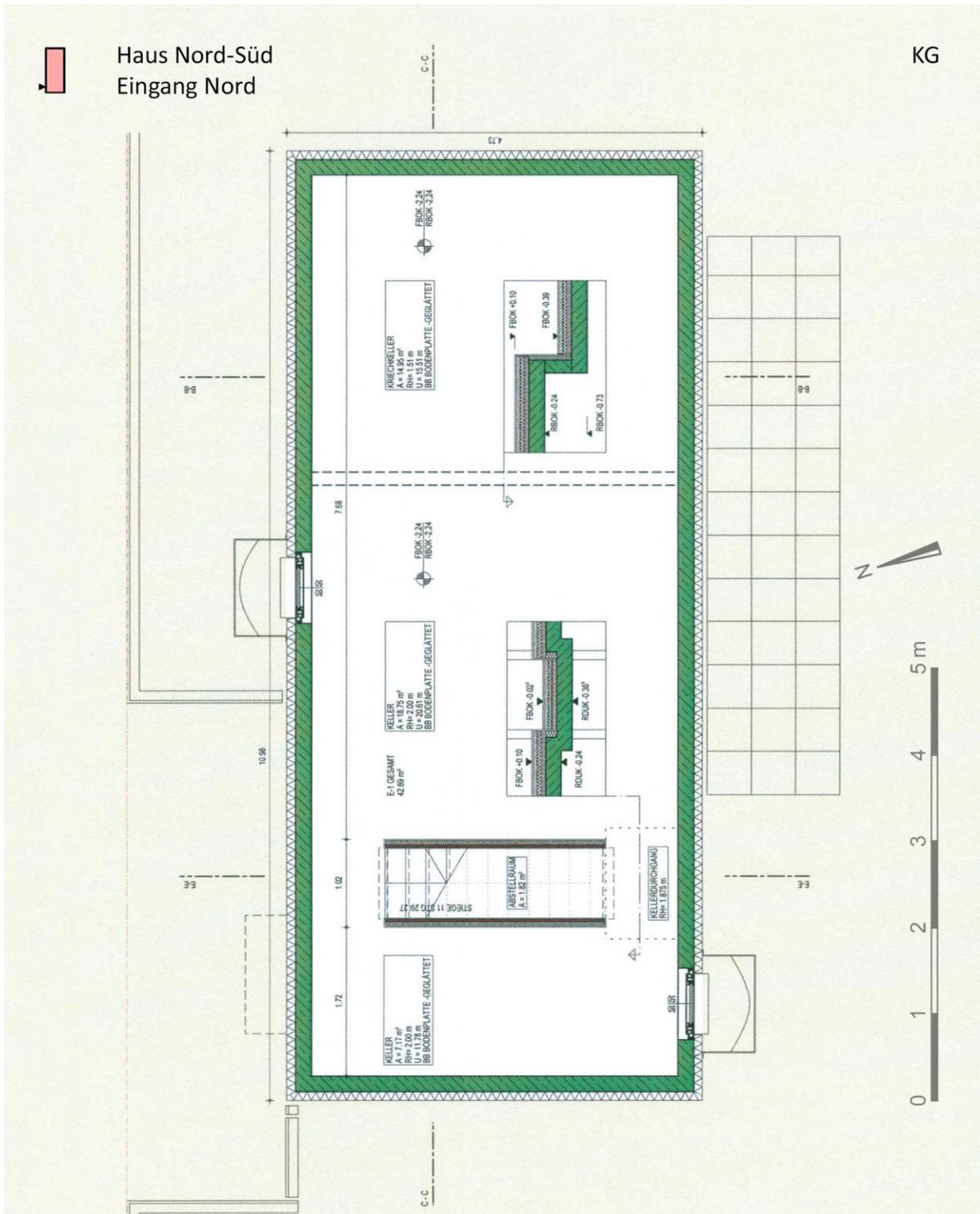


Abb. 29: Grundriss Kellergeschoß, Haus Nord-Süd Eingang Nord (Typ B)
 (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutz-
 gründen vorenthalten wird)

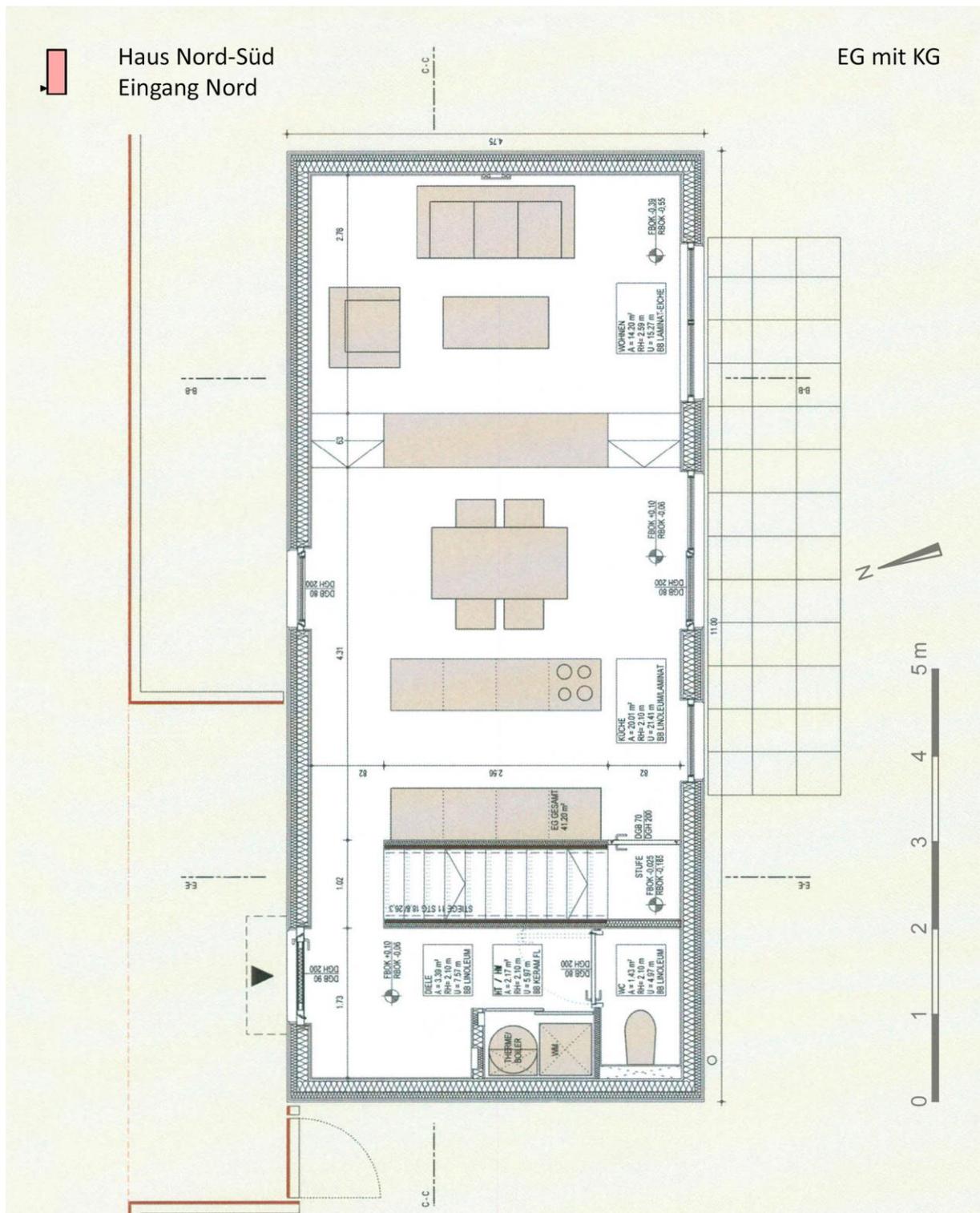


Abb. 30: Grundriss Erdgeschoß (Haustyp mit Keller), Haus Nord-Süd Eingang Nord (Typ B) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

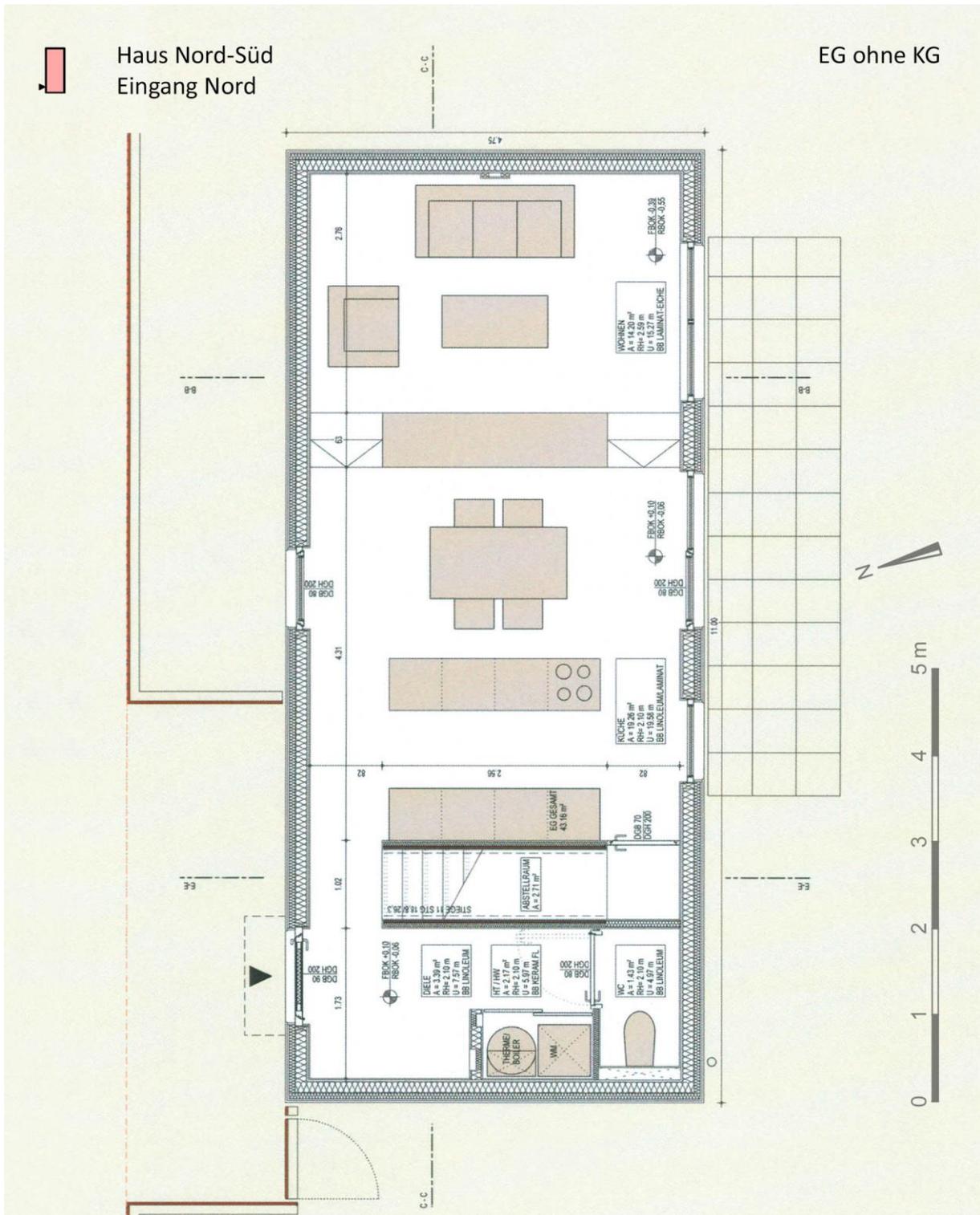


Abb. 31: Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Nord-Süd Eingang Nord (Typ B) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

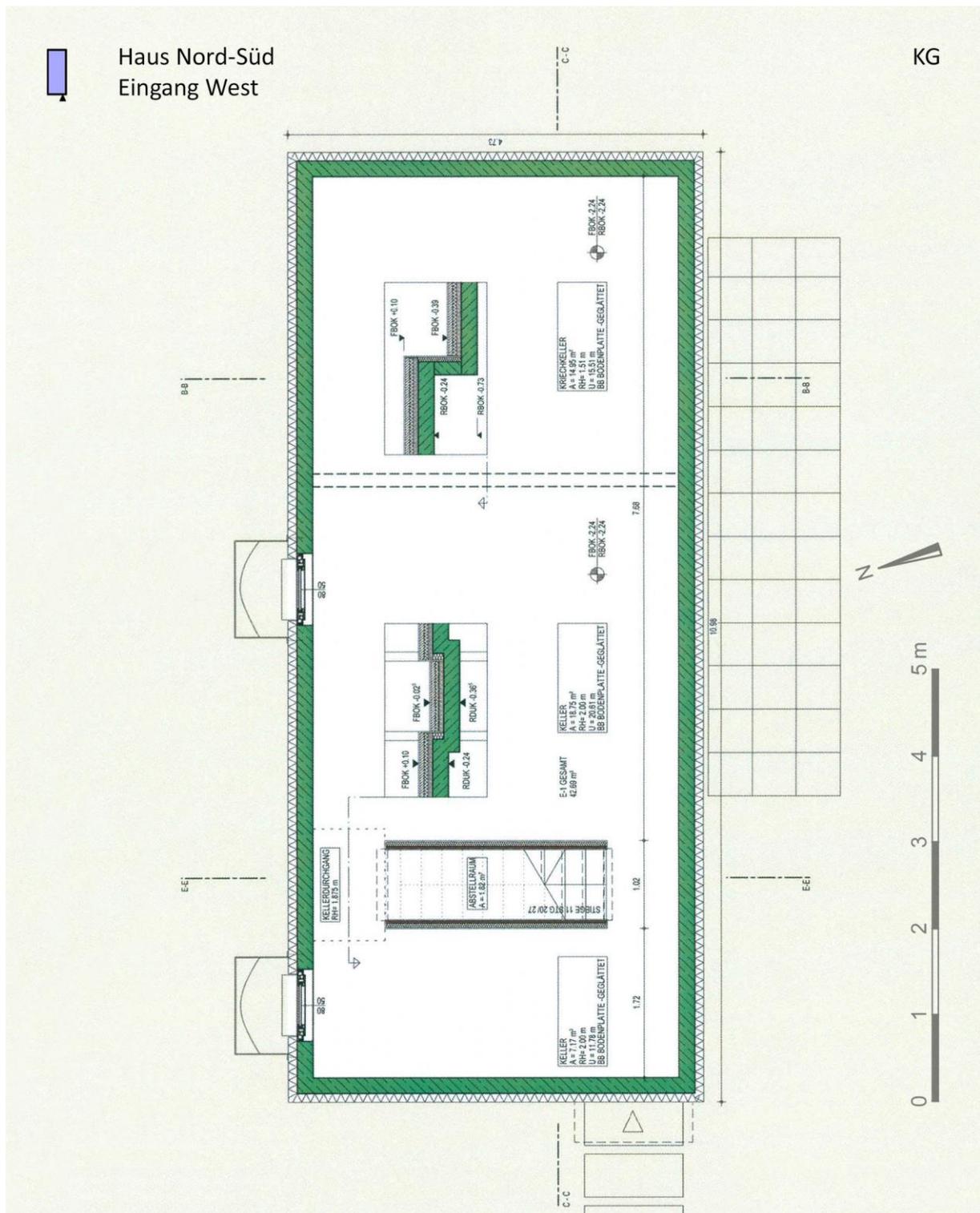


Abb. 33: Grundriss Kellergeschoß, Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C)
 (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

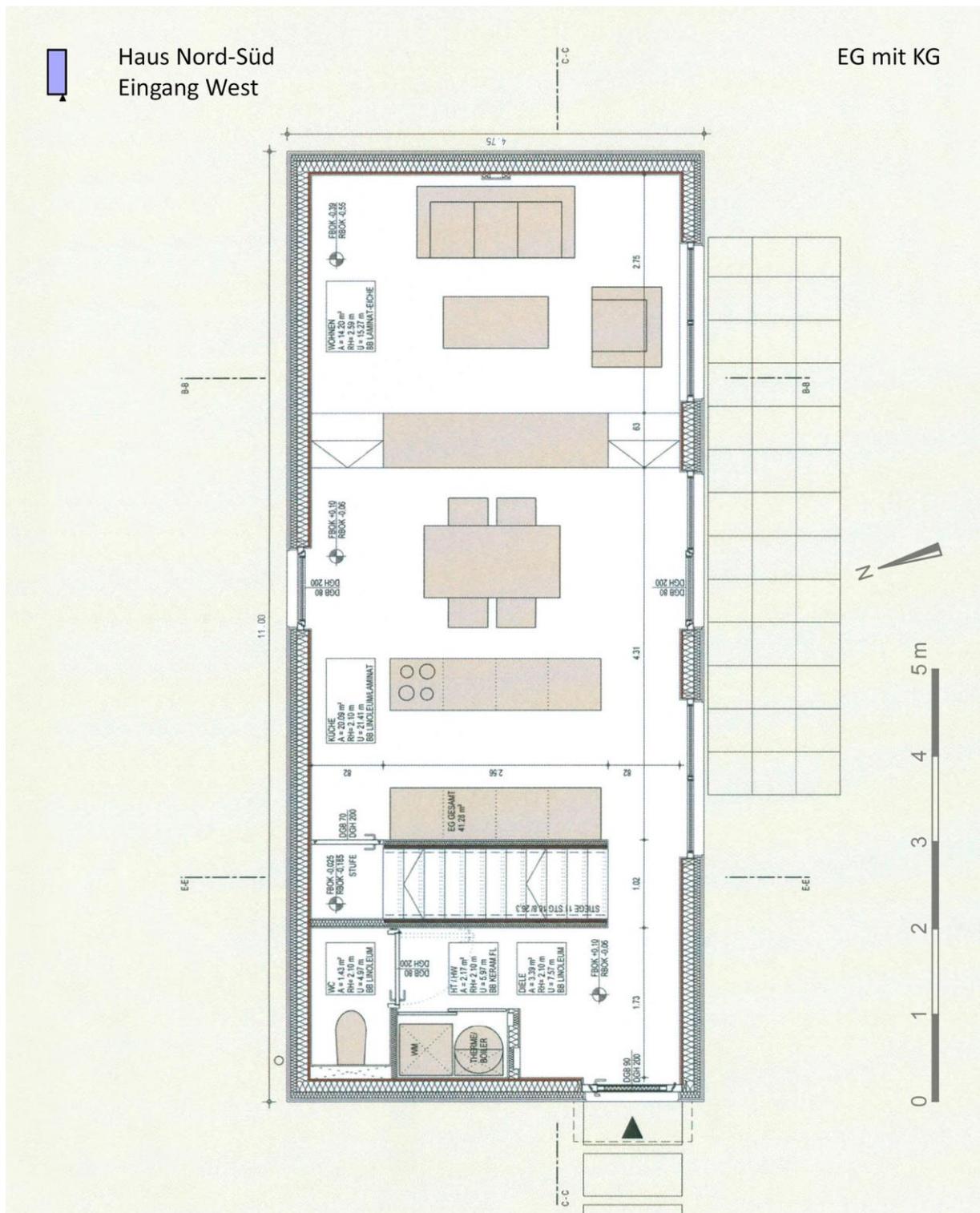


Abb. 34: Grundriss Erdgeschoß (Haustyp mit Keller), Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

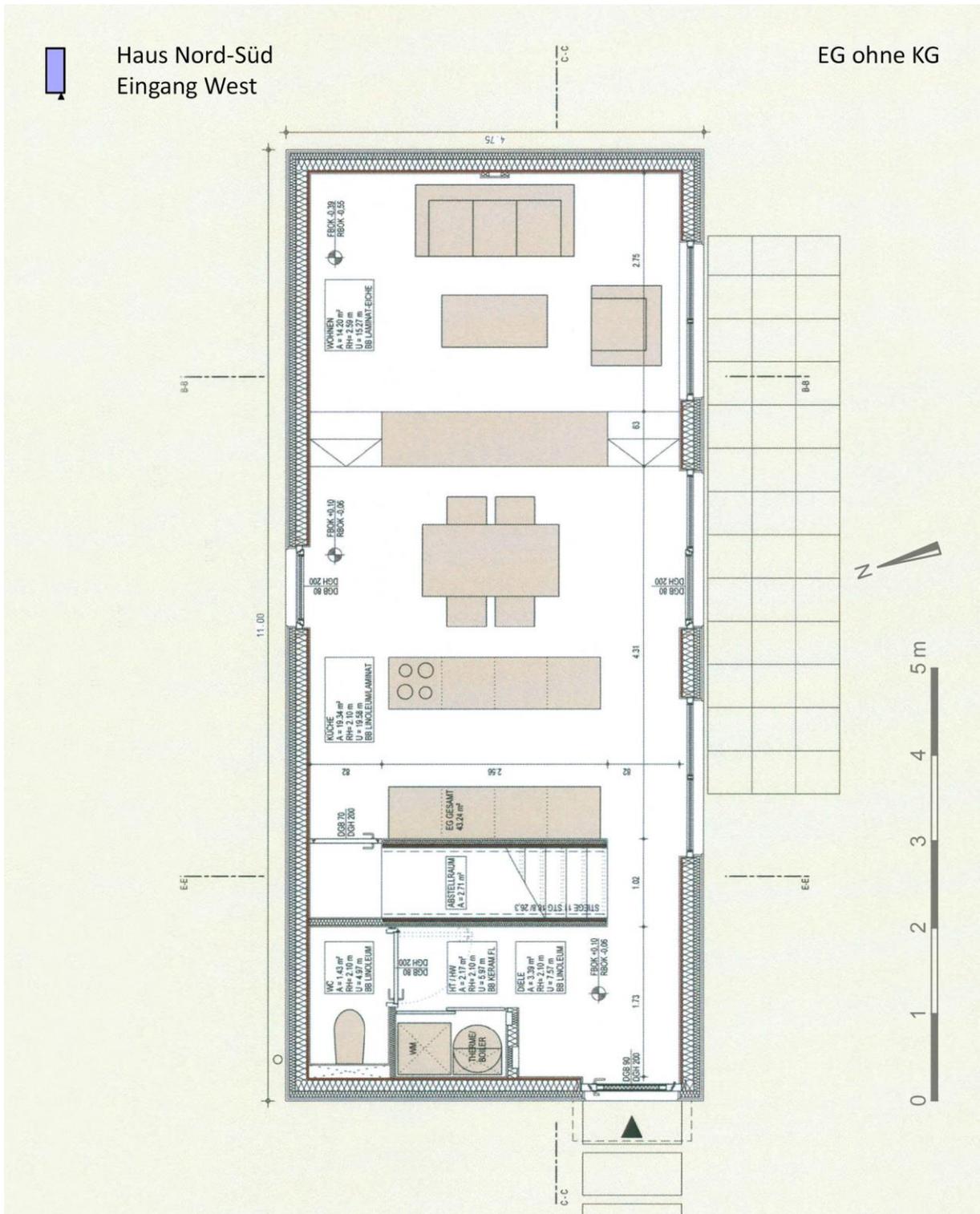


Abb. 35: Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

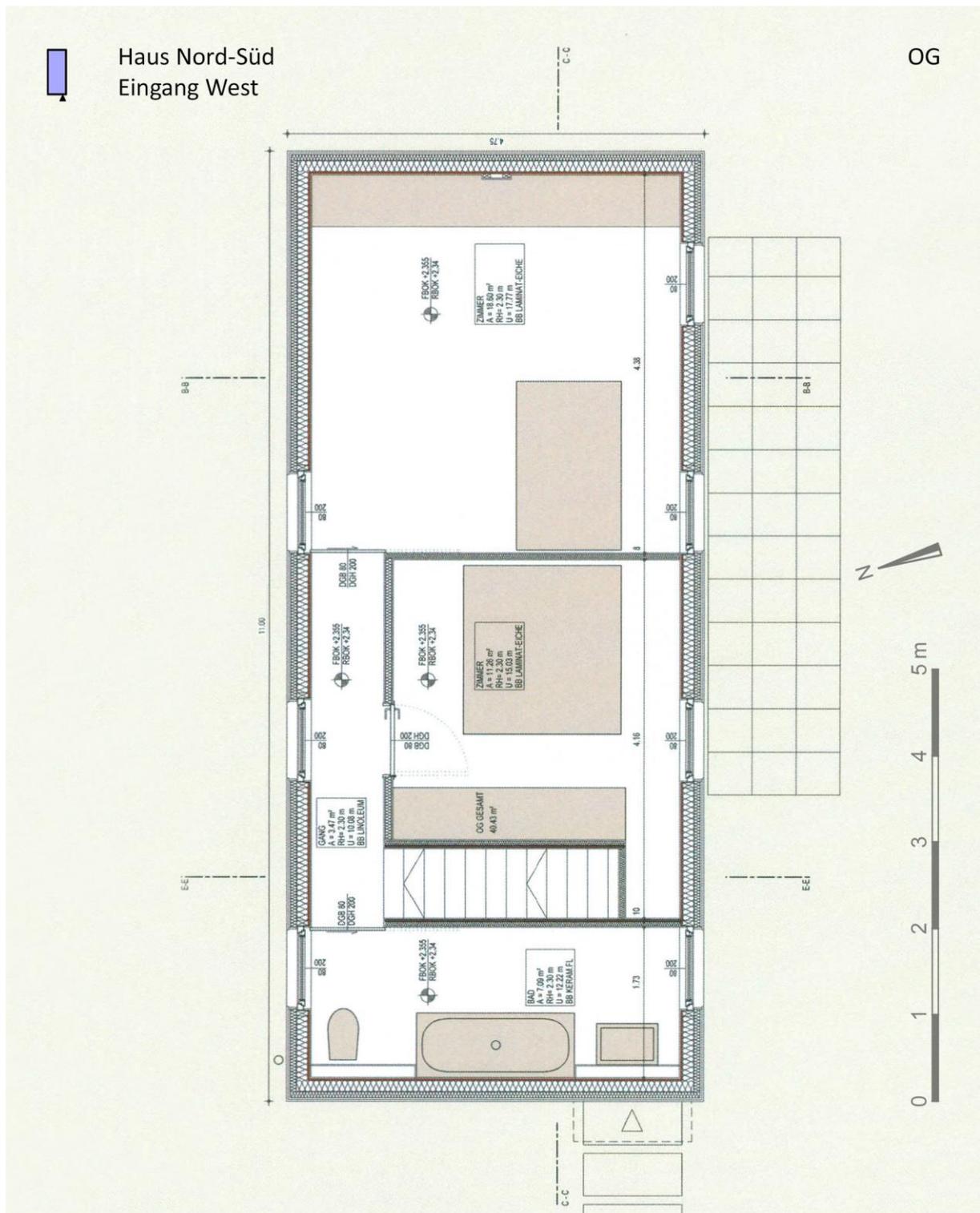


Abb. 36: Grundriss Obergeschoß, Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C)
 (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutz-
 gründen vorenthalten wird)

A.2 Schnitte

Querschnitt B-B nicht unterkellert

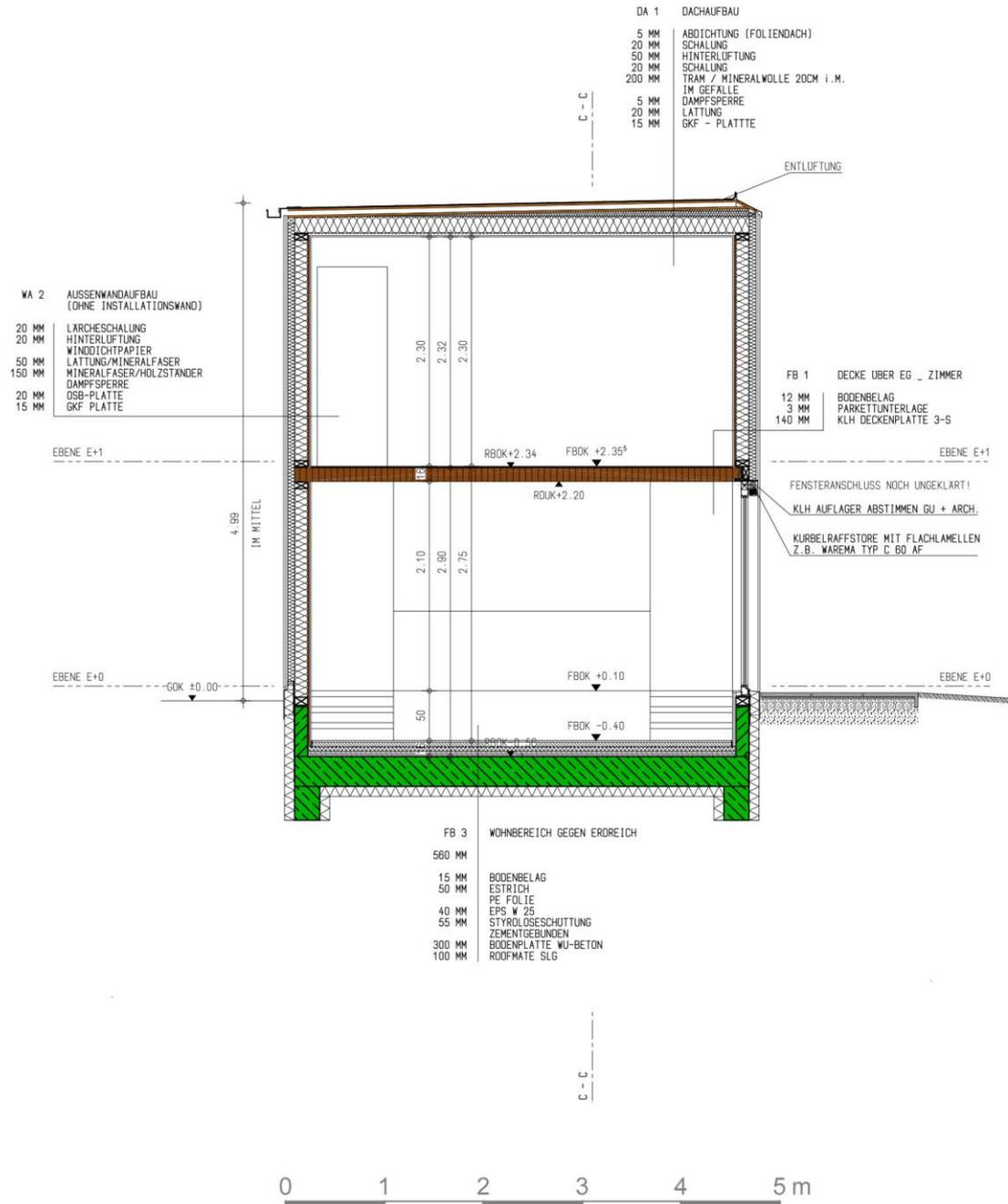


Abb. 37: Querschnitt B-B (Haustyp nicht unterkellert)
(nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

Querschnitt B-B unterkellert

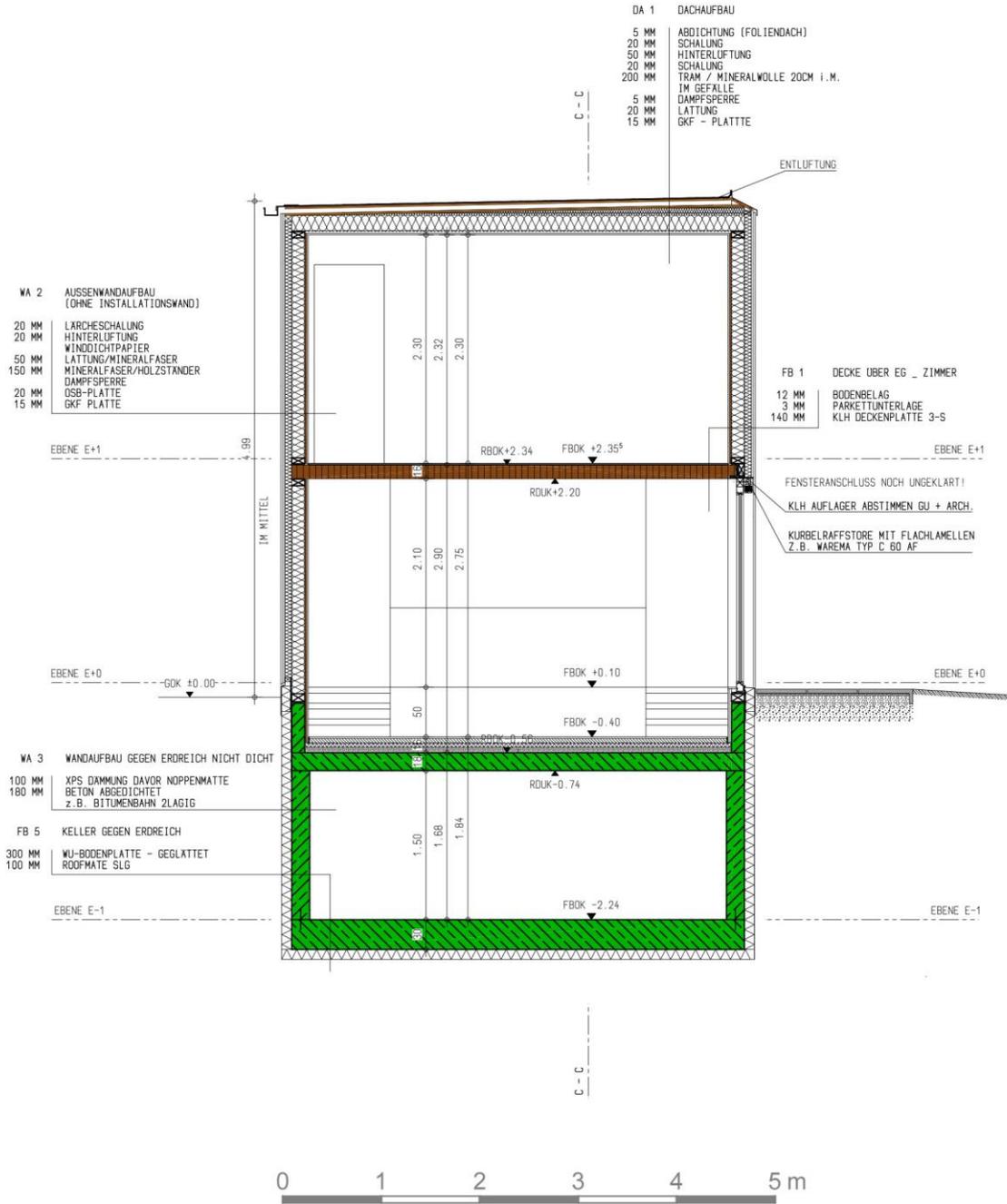


Abb. 38: Querschnitt B-B (Haustyp unterkellert)
(nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

Querschnitt E-E unterkellert

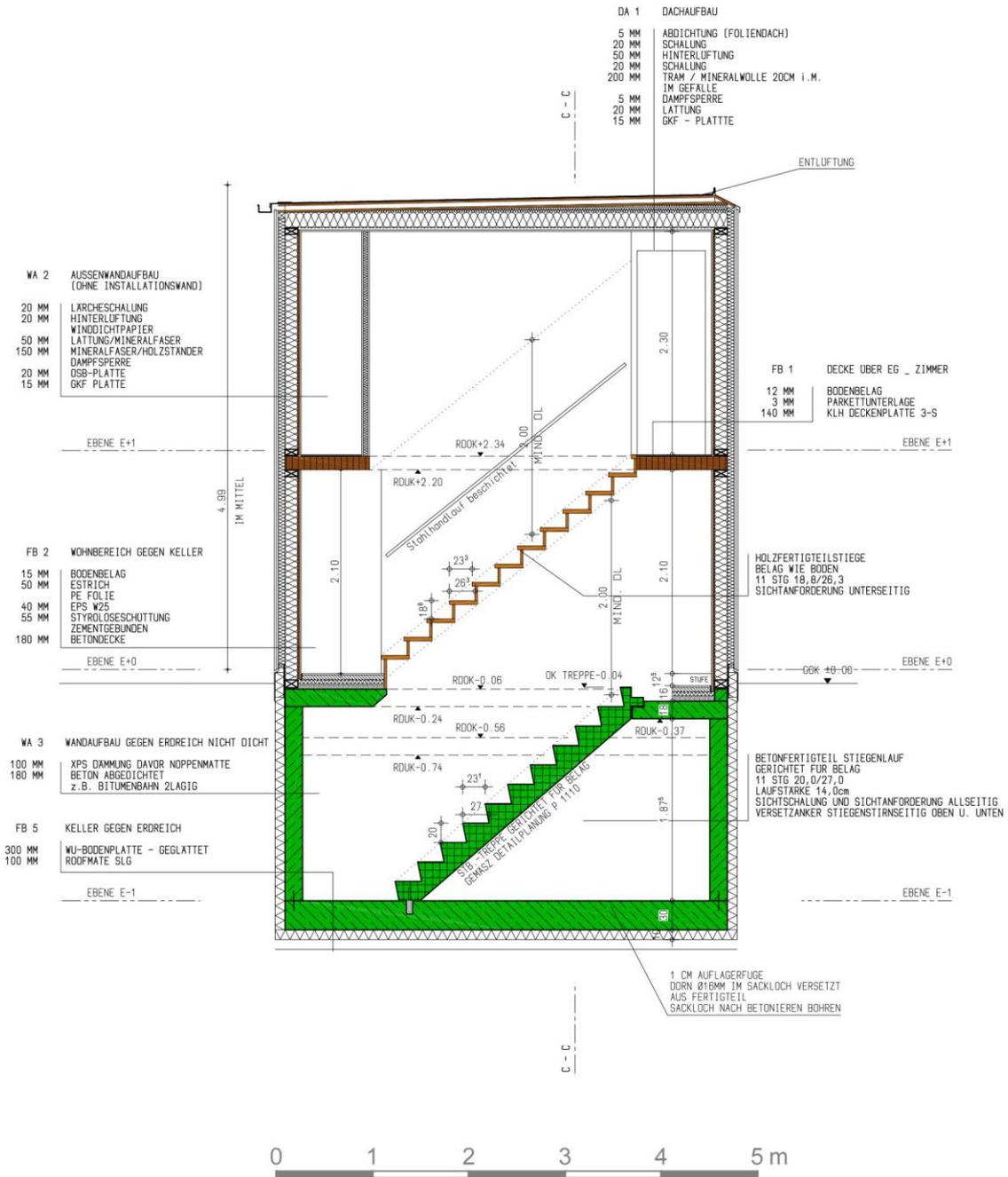


Abb. 39: Querschnitt E-E (Haustyp unterkellert)
(nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

A.3 Konstruktionsdetails

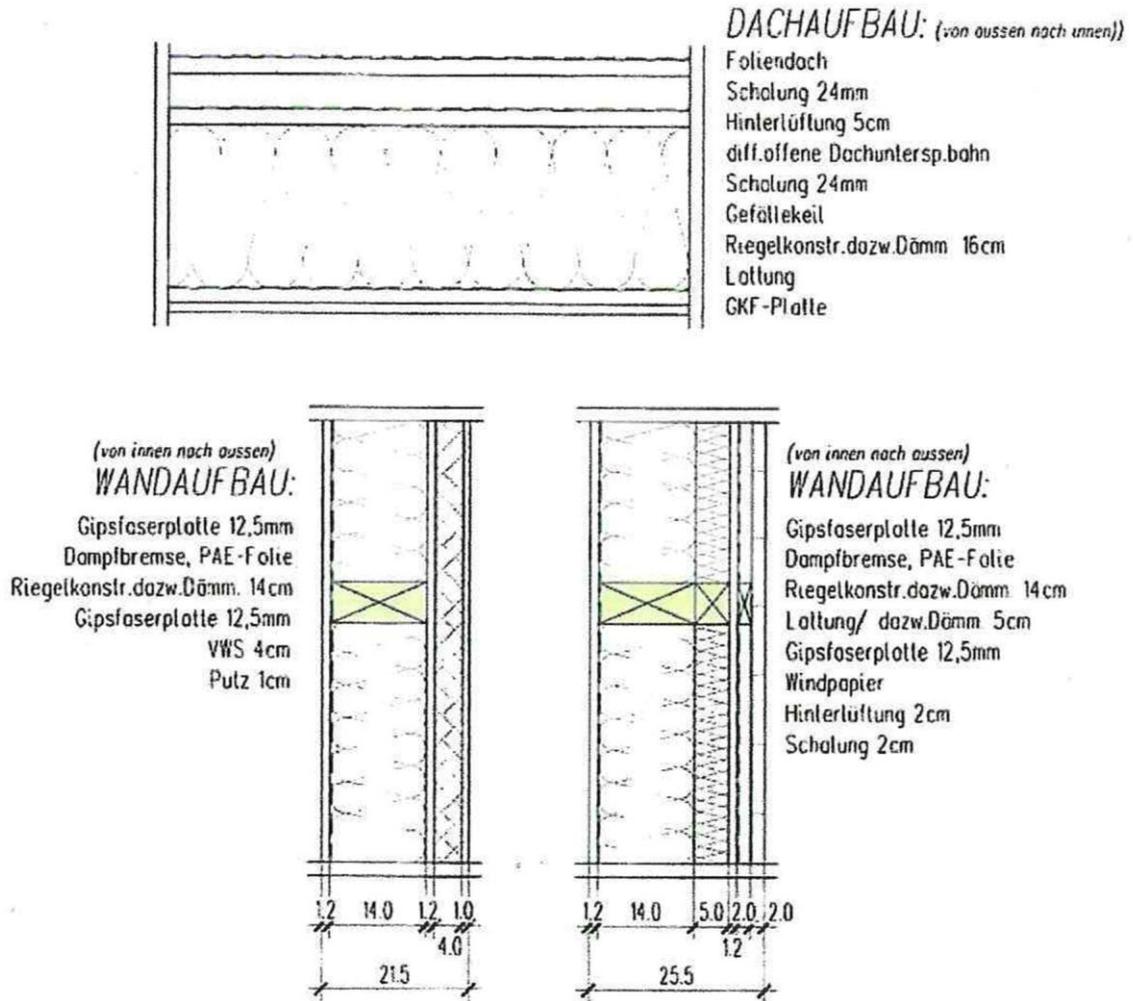


Abb. 42: Konstruktionsdetails
 (laut Holzbaufirma, deren Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird)

Anhang B Gebäudedaten

In Tabelle 22 werden die für Anhang B verwendeten Abkürzungen angegeben.

Tabelle 22: Verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Benennung
A	Typ A (Haus Ost-West Eingang Süd)
B	Typ B (Haus Nord-Süd Eingang Nord)
C	Typ C (Haus Nord-Süd Eingang West)
D	Typ D (Haus Ost-West Eingang Nord)
oK	ohne Keller
mKu	mit unbeheiztem Keller
mKb	mit beheiztem Keller
HH	Holzfassade im EG und OG
PH	Putzfassade im EG und Holzfassade im OG

B.1 Detaillierte Auflistung der untersuchten Gebäudetypen

Tabelle 23 listet die untersuchten Gebäudetypen auf.

Tabelle 23: Untersuchte Gebäudetypen

Gebäudetyp	Anzahl
A-oK-HH	1
A-oK-PH	3
A-mKu-PH	5
A-mKb-HH	2
A-mKb-PH	1
B-oK-PH	1
B-mKu-HH	1
B-mKu-PH	2
B-mKb-HH	4

Gebäudetyp	Anzahl
B-mKb-PH	1
C-oK-PH	2
C-mKu-HH	2
C-mKu-PH	3
C-mKb-HH	1
D-oK-PH	2
D-mKu-PH	3
D-mKb-PH	1

B.2 Aufbauten und U-Werte der Bauteile

Die folgenden Tabellen zeigen die Aufbauten und U-Werte der Bauteile. Die Auflistung der einzelnen Schichten erfolgte bei Wänden von innen nach außen und bei Böden, Decken und Dächern von oben nach unten.

Tabelle 24: WA 0 – Außenwand nicht hinterlüftet

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Gipsfaserplatte	1,3	
Dampfbremse (PAE-Folie)		
Holzständer / Mineralfaser	14,0	
Gipsfaserplatte	1,3	
Vollwärmeschutz	4,0	
Putz	1,0	
Gesamt	21,5	

Tabelle 25: WA 1 – Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Gipsfaserplatte	1,3	
Lattung / Installationsschacht – ruhende Luftschicht	18,0	
Dampfbremse (PAE-Folie)		
Holzständer / Mineralfaser	14,0	
Lattung / Mineralfaser	5,0	
Gipsfaserplatte	1,3	
Winddichtpapier		
Hinterlüftung – stark belüftete Luftschicht	2,0	
Lärcheschalung	2,0	
Gesamt	43,5	

Tabelle 26: WA 2 – Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Gipsfaserplatte	1,3	
Dampfbremse (PAE-Folie)		
Holzständer / Mineralfaser	14,0	
Lattung / Mineralfaser	5,0	
Gipsfaserplatte	1,3	
Winddichtpapier		
Hinterlüftung – stark belüftete Luftschicht	2,0	
Lärcheschalung	2,0	
Gesamt	25,5	

Tabelle 27: WA 3 – Außenwand gegen Erdreich nicht dicht

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
WU-Beton	18,0	
Bitumenabdichtung 2-lagig	1,0	
XPS-Dämmung	10,0	
Noppenmatte		
Gesamt	29,0	

Tabelle 28: WA 4 – Außenwand Absenkung gegen Erdreich

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
GKF-Platte	1,5	
Lattung / Heralan	2,0	
WU-Beton	13,0	
Bitumenabdichtung 2-lagig	1,0	
XPS-Dämmung	10,0	
Noppenmatte		
Gesamt	27,5	

Tabelle 29: DA 1 – Dach

	Dicke in cm	U-Wert in W/m²K
Foliendach	0,5	
Schalung	2,4	
Hinterlüftung	5,0	
diffusionsoffene Dachunterspannbahn		
Schalung	2,4	
Gefällekeil (im Mittel)	5,0	
Tram / Mineralwolle	16,0	
Dampfsperre	0,5	
Lattung	2,0	
GKF-Platte	1,5	
Gesamt	35,3	

Tabelle 30: FB 1 – Decke über EG

	Dicke in cm	U-Wert in W/m²K
Bodenbelag	1,2	
Parkettunterlage	0,3	
KLH Deckenplatte 3-S	14,0	
Gesamt	15,5	0,607

Tabelle 31: FB 2 – Wohnbereich gegen Keller

	Dicke in cm	U-Wert in W/m²K
Bodenbelag	1,5	
Estrich	5,0	
PE-Folie		
EPS W25	4,0	
Styroloseschüttung zementgebunden	5,5	
Betondecke	18,0	
Gesamt	34,0	0,370

Tabelle 32: FB 3 – Wohnbereich gegen Erdreich

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Bodenbelag	1,5	
Estrich	5,0	
PE-Folie		
EPS W25	4,0	
Styroloeschüttung zementgebunden	5,5	
Bodenplatte WU-Beton	30,0	
Roofmate SLG	10,0	
Gesamt	56,0	

Tabelle 33: FB 5 – Keller gegen Erdreich

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Bodenplatte WU-Beton – geglättet	30,0	
Roofmate SLG	10,0	
Gesamt	40,0	0,309

Tabelle 34: TW 1 – Trennwand zu Stiegenabgang

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Gipsfaserplatte	1,3	
Gipsfaserplatte	1,3	
Trennwandklemmfalz	10,0	
Gipsfaserplatte	1,3	
Gipsfaserplatte	1,3	
Gesamt	15,0	0,327

Tabelle 35: TW 2 – Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Gipsfaserplatte	1,3	
Gipsfaserplatte	1,3	
PE-Folie		
Beton	15,0	
Gesamt	17,5	

Tabelle 36: TW 3 – Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Erdreich

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Gipsfaserplatte	1,3	
Gipsfaserplatte	1,3	
PE-Folie		
WU-Beton	30,0	
Roofmate SLG	10,0	
Gesamt	42,5	0,302

Tabelle 37: ST 1 – Holzfertigteilstiege - Trittstufe

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Trittstufe lackiert	4,0	
Gesamt	4,0	1,648

Tabelle 38: ST 2 – Holzfertigteilstiege - Setzstufe

	Dicke in cm	U-Wert in W/m ² K
Setzstufe lackiert	2,0	
Gesamt	2,0	2,542

Tabelle 39: IT 1 – Innentür zu Stiegenabgang

	Länge in m	Fläche in m ²	U-Wert in W/m ² K
Breite	0,82		
Höhe	2,06		
Gesamt		1,689	2,500

Tabelle 40: AT 1 – Außentür

	Länge in m	Fläche in m ²	U-Wert in W/m ² K
Breite	1,05		
Höhe	2,15		
Gesamt		2,258	1,700

Tabelle 41: AF 1 – Fenstertüre EG

	Länge in m	A _w in m ²	U _w in W/m ² K
Breite	0,88		
Höhe	2,16		
Gesamt		1,901	1,200

Tabelle 42: AF 2 – Fenster EG Fixverglasung einfach

	Länge in m	A _w in m ²	U _w in W/m ² K
Breite	0,88		
Höhe	2,16		
Gesamt		1,901	1,200

Tabelle 43: AF 3 – Fenster EG Fixverglasung doppelt

	Länge in m	A _w in m ²	U _w in W/m ² K
Breite	1,76		
Höhe	2,16		
Gesamt		3,802	1,200

Tabelle 44: AF 4 – Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür

	Länge in m	A_W in m^2	U_W in W/m^2K
Breite	1,76		
Höhe	2,16		
Gesamt		3,802	1,200

Tabelle 45: AF 5 – Fenster OG – unten fix, oben öffnenbar

	Länge in m	A_W in m^2	U_W in W/m^2K
Breite	0,88		
Höhe	2,16		
Gesamt		1,901	1,200

Tabelle 46: AF 6 – Fenster zum Lichtschacht

	Länge in m	A_W in m^2	U_W in W/m^2K
Breite	0,80		
Höhe	0,50		
Gesamt		0,400	1,200

B.3 Gebäudehüllflächen

Die folgenden Tabellen zeigen die Hüllflächen des konditionierten Bruttovolumens je untersuchten Gebäudetyp.

Tabelle 47: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-HH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		135,93	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 3	Wohnbereich gegen Erdreich	51,00		
TW 3	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Erdreich	2,37		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 48: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-HH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90	1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3		4	7	13,31

Tabelle 49: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		67,38	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 3	Wohnbereich gegen Erdreich	51,00		
TW 3	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Erdreich	2,37		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 50: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²	
		NNO	OSO	SSW	WNW			
AF 1	Fenstertüre EG	1,90		1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80				2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90		3		4	7	13,31

Tabelle 51: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKu-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		60,52	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 1	Decke über EG - Zimmer - gegen Stiegenabgang			0,85
FB 2	Wohnbereich gegen Keller			47,95
TW 1	Trennwand zum Stiegenabgang			10,02
TW 2	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller			2,37
ST 1	Holzfertigteilstiege - Trittstufe			1,68
ST 2	Holzfertigteilstiege - Setzstufe			1,68
IT 1	Innentür zum Stiegenabgang			1,69
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 52: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKu-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²	
		NNO	OSO	SSW	WNW			
AF 1	Fenstertüre EG	1,90		1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80				2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90		3		4	7	13,31

Tabelle 53: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-HH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		126,81	
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht	67,67		
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht - Lichtschacht		0,91	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 5	Keller gegen Erdreich	51,94		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 54: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-HH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90	1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben öffnenbar	1,90	3		4	7	13,31
AF 6	Fenster zum Lichtschacht	0,40	1		1	2	0,80

Tabelle 55: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		60,52	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht	67,67		
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht - Lichtschacht		0,91	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 5	Keller gegen Erdreich	51,94		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 56: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-PH

transparente Bauteile		Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
			NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90		1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80				2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90		3		4	7	13,31
AF 6	Fenster zum Lichtschacht	0,40		1		1	2	0,80

Tabelle 57: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-oK-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		69,28	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 3	Wohnbereich gegen Erdreich	51,00		
TW 3	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Erdreich	2,37		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 58: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-oK-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1		1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80		1		1	3,80
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80		1		1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3	4		7	13,31

Tabelle 59: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-HH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		128,71	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 1	Decke über EG - Zimmer - gegen Stiegenabgang			0,85
FB 2	Wohnbereich gegen Keller			47,95
TW 1	Trennwand zum Stiegenabgang			10,02
TW 2	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller			2,37
ST 1	Holzfertigteilstiege - Trittstufe			1,68
ST 2	Holzfertigteilstiege - Setzstufe			1,68
IT 1	Innentür zum Stiegenabgang			1,69
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 60: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-HH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90			1	1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			1	1	3,80
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80			1	1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3		4	7	13,31

Tabelle 61: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		62,42	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 1	Decke über EG - Zimmer - gegen Stiegenabgang			0,85
FB 2	Wohnbereich gegen Keller			47,95
TW 1	Trennwand zum Stiegenabgang			10,02
TW 2	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller			2,37
ST 1	Holzfertigteilstiege - Trittstufe			1,68
ST 2	Holzfertigteilstiege - Setzstufe			1,68
IT 1	Innentür zum Stiegenabgang			1,69
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 62: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90			1	1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			1	1	3,80
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80			1	1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3		4	7	13,31

Tabelle 63: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-HH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		128,71	
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht	67,67		
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht - Lichtschacht		0,91	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 5	Keller gegen Erdreich	51,94		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 64: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-HH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90			1	1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			1	1	3,80
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80			1	1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben öffnenbar	1,90	3		4	7	13,31
AF 6	Fenster zum Lichtschacht	0,40	1		1	2	0,80

Tabelle 65: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		62,42	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht	67,67		
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht - Lichtschacht		0,91	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 5	Keller gegen Erdreich	51,94		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 66: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1		1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80		1		1	3,80
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80		1		1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3	4		7	13,31
AF 6	Fenster zum Lichtschacht	0,40	1	1		2	0,80

Tabelle 67: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-oK-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		67,38	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 3	Wohnbereich gegen Erdreich	51,00		
TW 3	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Erdreich	2,37		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 68: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-oK-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			2	2	7,60
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80			1	1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3		4	7	13,31

Tabelle 69: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-HH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		126,81	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 1	Decke über EG - Zimmer - gegen Stiegenabgang			0,85
FB 2	Wohnbereich gegen Keller			47,95
TW 1	Trennwand zum Stiegenabgang			10,02
TW 2	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller			2,37
ST 1	Holzfertigteilstiege - Trittstufe			1,68
ST 2	Holzfertigteilstiege - Setzstufe			1,68
IT 1	Innentür zum Stiegenabgang			1,69
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 70: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-HH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			2	2	7,60
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80			1	1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben öffnenbar	1,90	3		4	7	13,31

Tabelle 71: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		60,52	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 1	Decke über EG - Zimmer - gegen Stiegenabgang			0,85
FB 2	Wohnbereich gegen Keller			47,95
TW 1	Trennwand zum Stiegenabgang			10,02
TW 2	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller			2,37
ST 1	Holzfertigteilstiege - Trittstufe			1,68
ST 2	Holzfertigteilstiege - Setzstufe			1,68
IT 1	Innentür zum Stiegenabgang			1,69
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 72: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			2	2	7,60
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80			1	1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3		4	7	13,31

Tabelle 73: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKb-HH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		126,81	
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht	67,67		
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht - Lichtschacht		0,91	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 5	Keller gegen Erdreich	51,94		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 74: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKb-HH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
		NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90	1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80			2	2	7,60
AF 4	Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür	3,80			1	1	3,80
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90	3		4	7	13,31
AF 6	Fenster zum Lichtschacht	0,40	2			2	0,80

Tabelle 75: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-oK-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		67,38	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 3	Wohnbereich gegen Erdreich	51,00		
TW 3	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Erdreich	2,37		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 76: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-oK-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²	
		NNO	OSO	SSW	WNW			
AF 1	Fenstertüre EG	1,90		1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80				2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90		3		4	7	13,31

Tabelle 77: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKu-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		60,52	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 1	Decke über EG - Zimmer - gegen Stiegenabgang			0,85
FB 2	Wohnbereich gegen Keller			47,95
TW 1	Trennwand zum Stiegenabgang			10,02
TW 2	Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller			2,37
ST 1	Holzfertigteilstiege - Trittstufe			1,68
ST 2	Holzfertigteilstiege - Setzstufe			1,68
IT 1	Innentür zum Stiegenabgang			1,69
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 78: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKu-PH

transparente Bauteile	Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²	
		NNO	OSO	SSW	WNW			
AF 1	Fenstertüre EG	1,90		1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80				2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90		3		4	7	13,31

Tabelle 79: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKb-PH

opake Bauteile		Fläche gegen Erdreich in m ²	Fläche gegen Außenluft in m ²	Fläche gegen unbeheizt in m ²
WA 0	Außenwand nicht hinterlüftet		60,52	
WA 1	Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)		5,52	
WA 2	Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)		66,30	
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht	67,67		
WA 3	Außenwand gegen Erdreich nicht dicht - Lichtschacht		0,91	
WA 4	Außenwand Absenkung gegen Erdreich	6,03		
DA 1	Dach		51,00	
FB 5	Keller gegen Erdreich	51,94		
AT 1	Außentür		2,26	

Tabelle 80: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKb-PH

transparente Bauteile		Fläche in m ²	Anzahl je Orientierung				Summe Anzahl	Gesamtfläche in m ²
			NNO	OSO	SSW	WNW		
AF 1	Fenstertüre EG	1,90		1		1	2	3,80
AF 2	Fenster EG Fixverglasung einfach	1,90		1			1	1,90
AF 3	Fenster EG Fixverglasung doppelt	3,80				2	2	7,60
AF 5	Fenster OG - unten fix, oben offenbar	1,90		3		4	7	13,31
AF 6	Fenster zum Lichtschacht	0,40		1		1	2	0,80

Anhang C Unterlagen zur Datenerhebung

C.1 Fragebogen

Wie viele Personen leben in Ihrem Haushalt?

Anzahl der Bewohner

Vollzeit Berufstätige

Teilzeit Berufstätige

Kinder oder Schüler, Unterstufe

Schüler, Oberstufe

Pensionisten

Arbeitet jemand von zu Hause aus (Heimarbeit / Home-Office)?

nein

ja, 1
Bewohner

ja, 2
Bewohner

Wie oft kochen Sie pro Woche?

weniger als
7 mal

etwa 7 mal

öfter als
7 mal

Haben Sie einen Wäschetrockner im Haus?

ja

nein

Wie oft wird der Wäschetrockner (im Jänner) verwendet?

für jede
Waschladung

selten

nie

Wo wird die Wäsche im Winter aufgehängt, wenn Sie nicht getrocknet wurde?

Wohnbereich
(Schlafzimmer,
Bad, ...)

Keller

Terrasse,
Balkon,
Garten

Wie viele Zimmerpflanzen haben Sie in Ihrem Haus?

Im Erdgeschoß

Im Obergeschoß

Wie oft wird (im Jänner) pro Woche geduscht?

(Anzahl pro Woche)

Bewohner 1

Bewohner 2

Bewohner 3

Bewohner 4

Bewohner 5

Wie oft wird (im Winter) pro Woche gebadet?

(Anzahl pro Woche)

Bewohner 1

Bewohner 2

Bewohner 3

Bewohner 4

Bewohner 5

Haben Sie Haustiere?

nein

ja, Hund

ja, Katze

ja, Hamster,
Zwerghamster,
...

ja, Fische
(Aquarium)

ja,

Verwenden Sie Luftbefeuchter?

ja

nein

Haben Sie eine kontrollierte Wohnraumlüftung?

ja nein

Ist die kontrollierte Wohnraumlüftung im Jänner in Betrieb?

ja nein

Wie oft werden die Fenster im Jänner geöffnet? (Mehrfachnennung möglich)

Stoßlüften morgens Stoßlüften abends Stoßlüften tagsüber nie

Wie viele Fenster sind tagsüber gekippt? im Keller
im Erdgeschoß
im Obergeschoß

Wie viele Fenster sind nachts gekippt? im Keller
im Erdgeschoß
im Obergeschoß

Wird in der Wohnung geraucht?

ja nein

Verwenden Sie die Ventilatoren (Entlüfter) im Bad und im WC?

ja nein

Heizen Sie ständig, oder nur bei Anwesenheit?

- ständig nur bei Anwesenheit

Können Sie die Temperaturen raumweise einstellen (Raumthermostat, Heizkörperthermostat, Durchflussregulierung, ...)?

- ja nein

Verwenden Sie eine Nachtabsenkung der Raumtemperaturen?

- ja nein

Wie viele Personen im Haushalt schlafen gerne bei niedrigen Raumtemperaturen?

- niemand 1 Bewohner 2 Bewohner 3 oder mehr Bewohner

Welche Temperatur bevorzugen Sie im Winter in folgenden Räumen? (Auf welche Temperatur ist das Thermostat eingestellt?)

Wohnzimmer

- 18°C 19°C 20°C 21°C 22°C 23°C 24°C

Schlafzimmer

- 18°C 19°C 20°C 21°C 22°C 23°C 24°C

Kinderzimmer / Arbeitszimmer

- 18°C 19°C 20°C 21°C 22°C 23°C 24°C

Wie groß ist ihr Stromverbrauch (Kochen, Fernseher, Kühlschrank, etc.)?

Ich hatte auf der letzten Jahres-Abrechnung einen Stromverbrauch von kWh
im Zeitraum von bis

Ich zahle ungefähr Euro pro Jahr (inkl. MWST) für Strom.

Wie groß ist ihr Gasverbrauch (Heizung und Warmwasser)?

Ich hatte auf der letzten Jahres-Abrechnung einen Gasverbrauch von kWh
im Zeitraum von bis

Ich zahle ungefähr Euro pro Jahr (inkl. MWST) für Gas.

C.2 Interview-Vorlagen

C.2.1 Gebäude- und personenbezogene Daten

Gab es seit dem Einzug Änderungen am Gebäude?

Datum	Änderung

Gab es seit dem Einzug Änderungen der Gebäudenutzung? (Personen-, Haustieranzahl, Anwesenheit (z.B. Karenz), andere Nutzung eines Raumes etc.)

Datum	Änderung

Türen sind prinzipiell

offen

geschlossen

Folgende Türen sind prinzipiell

offen:

geschlossen:

Tür zum

WC

Bad

Schlafzimmer

Keller

Abstellraum

Arbeits-/Kinderzimmer

Art der Kochfläche:

E-Herd

Induktionsherd

Gas-Herd

Anwesenheit der Personen

Person	Geschlecht		Alter bzw. Geburtstag bei Babys	Beruf / Tätigkeit	Anwesenheit	
	W	M			jährlich	täglich
					Tage/Jahr	Stunden/Tag
1						
2						
3						
4						
5						

Warmwasserverbrauch

Person	Anzahl pro Woche			
	kurzes Duschen	mittleres Duschen	langes Duschen	Baden
1				
2				
3				
4				
5				

C.2.2 Nutzerverhalten je Raum

- Raum Keller: unbeheizt beheizt
 Wohnküche + Vorraum EG + Abstellnische EG + Aufgang OG + Gang OG
 Schlafzimmer
 Arbeitszimmer / Kinderzimmer
 Bad

Luftfeuchtigkeit

- Die Luft ist zu feucht zu trocken
Pflanzen viele große Pflanzen gar keine Pflanzen
Wird Wäsche zum Trocknen aufgehängt? ja selten nein
Luftbefeuchter ja nein
wenn ja: ____ Std. pro Tag / Woche Einstellung: ____% rel. Feuchte
Luftentfeuchter ja nein
wenn ja: ____ Std. pro Tag / Woche Einstellung: ____% rel. Feuchte

Lüftungsverhalten

- Stoßlüften: morgens ____ Min. tagsüber ____ Min. abends ____ Min.
 Kippen: morgens ____ Min. tagsüber ____ Min. abends ____ Min.
 Ventilator: vor während nach dem Duschen ____ Min.

Raumtemperatur

- Raumtemperatur in der Heizperiode: ____ °C
Wärmebereitstellung: ____ Stück Heizkörper
Wie oft werden die Einstellungen geändert? _____
Gibt es Unterschiede zwischen Tag und Nacht? Nachtabenkung
geschätzte Temperatur: ____ °C

Fenster

Ge- schoß	Anzahl	Orientierung				Verschattungsvorrichtung			Anmer- kungen
		Nord	Ost	Süd	West	Außen- jalousie	Vorhang	Blissée	

Beleuchtung

An- zahl	Art des Leuchtmittels					Verbrauch in Watt	Betriebsstun- den pro Tag
	Glüh- birne	Energie- sparlampe	LED	Halogen	Leucht- stoffröhre		

Elektrische Geräte

E-Gerät	Verbrauch in Watt	Bau- jahr	Betriebs- stunden pro Tag	Standby		vorhanden seit		Anmer- kungen
				ja	nein	Einzug	[Datum]	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Differenz zwischen dem Energiebedarf und dem Energieverbrauch [BED14] ...	3
Abb. 2:	Foto der Kleingartenwohnanlage (Quelle aus Datenschutzgründen vorenthalten).....	5
Abb. 3 u. 4:	Fotos der Kleingartenwohnhäuser (Quelle aus Datenschutzgründen vorenthalten).....	6
Abb. 5:	Lageplan der Kleingartenwohnanlage mit Typenbeschreibung der Häuser (in Anlehnung an den Lageplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	7
Abb. 6:	Histogramm der erhobenen Stromverbrauchsdaten.....	11
Abb. 7:	Histogramm der erhobenen Gasverbrauchsdaten.....	11
Abb. 8:	Histogramm der gemessenen und gemittelten Innentemperaturwerte.....	13
Abb. 9:	Histogramm der ermittelten n_{50} -Werte.....	15
Abb. 10:	Definition der Fläche A und der Höhe H der Lüftungsöffnung nach ÖNORM B 8110-3 [ÖNO12, S. 28]	27
Abb. 11:	Energieumsatz verschiedener Säugetiere im Vergleich zu ihrer Körpermasse [SCH16, S. 1].....	42
Abb. 12:	Während des dreijährigen Beobachtungszeitraumes gemessene Außentemperaturwerte der Wetterstationen der TU und der Boku sowie der in der Kleingartenwohnanlage angebrachten Datenlogger	48
Abb. 13:	Näherer Vergleich der in der Kleingartenwohnanlage gemessenen Außentemperaturwerte mit den Daten der Wetterstationen der TU und der Boku	48
Abb. 14:	Vergleich der Ergebnisse der adaptierten Energiebedarfsberechnung und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser	54
Abb. 15:	Korrelationskoeffizient verschiedener Punktwolken [IMA07]	55
Abb. 16:	Graphische Darstellung der Änderungen des Bestimmtheitsmaßes durch Variation des Parameters $\tau_{\text{Öffnen,OG}}$	56
Abb. 17:	Vergleich der Ergebnisse der adaptierten Energiebedarfsberechnung und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser nach Optimierung des Parameters $\tau_{\text{Öffnen,OG}}$	57

Abb. 18:	Vergleich der Ergebnisse der standardisierten Energiebedarfsberechnung mit Standortklima und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser. Die horizontalen Linien symbolisieren die Ergebnisse der Energieausweise der verschiedenen Gebäudetypen.	62
Abb. 19:	Vergleich der Ergebnisse der standardisierten Energiebedarfsberechnung mit realem Klima und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser. Die horizontalen Linien symbolisieren die Ergebnisse der Energieausweise der verschiedenen Gebäudetypen bei Verwendung des realen Klimas.....	63
Abb. 20:	Vergleich der Ergebnisse der adaptierten Energiebedarfsberechnung und der gemessenen Energieverbrauchsdaten für Raumheizung und Warmwasser	64
Abb. 21:	Grundriss Kellergeschoß, Haus Ost-West Eingang Süd (Typ A) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	69
Abb. 22:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp mit Keller), Haus Ost-West Eingang Süd (Typ A) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	70
Abb. 23:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Ost-West Eingang Süd (Typ A) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	71
Abb. 24:	Grundriss Obergeschoß, Haus Ost-West Eingang Süd (Typ A) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	72
Abb. 25:	Grundriss Kellergeschoß, Haus Ost-West Eingang Nord (Typ D) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	73
Abb. 26:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp mit Keller), Haus Ost-West Eingang Nord (Typ D) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	74
Abb. 27:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Ost-West Eingang Nord (Typ D) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	75

Abb. 28:	Grundriss Obergeschoß, Haus Ost-West Eingang Nord (Typ D) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	76
Abb. 29:	Grundriss Kellergeschoß, Haus Nord-Süd Eingang Nord (Typ B) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	77
Abb. 30:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp mit Keller), Haus Nord-Süd Eingang Nord (Typ B) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	78
Abb. 31:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Nord-Süd Eingang Nord (Typ B) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	79
Abb. 32:	Grundriss Obergeschoß, Haus Nord-Süd Eingang Nord (Typ B) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	80
Abb. 33:	Grundriss Kellergeschoß, Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	81
Abb. 34:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp mit Keller), Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	82
Abb. 35:	Grundriss Erdgeschoß (Haustyp ohne Keller), Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	83
Abb. 36:	Grundriss Obergeschoß, Haus Nord-Süd Eingang West (Typ C) (nach dem Verkaufsplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	84
Abb. 37:	Querschnitt B-B (Haustyp nicht unterkellert) (nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	85
Abb. 38:	Querschnitt B-B (Haustyp unterkellert) (nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	86

Abb. 39:	Querschnitt E-E (Haustyp unterkellert) (nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	87
Abb. 40:	Längsschnitt C-C (Haustyp nicht unterkellert) (nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	88
Abb. 41:	Längsschnitt C-C (Haustyp unterkellert) (nach dem Polierplan des Architekturbüros, dessen Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	89
Abb. 42:	Konstruktionsdetails (laut Holzbaufirma, deren Benennung aus Datenschutzgründen vorenthalten wird).....	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gebäudetypen und Orientierung der untersuchten Kleingartenwohnhäuser	7
Tabelle 2:	Mittels Fragebögen und Interviews erfasste Daten sowie deren Bezug zur Arbeit	10
Tabelle 3:	Wichtige Gebäudekennwerte je Gebäudetyp	14
Tabelle 4:	Vergleich der Eingangsdaten der standardisierten Energiebedarfsberechnung gemäß den rechtlichen Vorschriften in Österreich und der an die Nutzungsbedingungen angepassten Energiebedarfsberechnung der vorliegenden Arbeit	17
Tabelle 5:	Einteilung der Personengruppen nach Alter	19
Tabelle 6:	Durchschnittliche Urlaubsdauer je Urlaubsart	20
Tabelle 7:	Durchschnittliche Personenanwesenheit je nach Personenalter bzw. Beschäftigung	21
Tabelle 8:	Durchschnittliche Anwesenheit von gleichwarmen Haustieren je Tierart	22
Tabelle 9:	Klassifikation des Windabschirmungskoeffizienten e laut EN ISO 13789 [ENI07b]	26
Tabelle 10:	Fenstertypen	27
Tabelle 11:	Öffnungsfläche bei geöffnetem Fenster je Typ	28
Tabelle 12:	Öffnungsfläche bei gekipptem Fenster je Typ	28
Tabelle 13:	Arten und Dauer von Hygienemaßnahmen	32
Tabelle 14:	Arten, Dauer und Anzahl der WC-Nutzungen pro Tag	33
Tabelle 15:	Durchschnittliche Körperoberfläche und Wärmeabgabe verschiedener Personengruppen	40
Tabelle 16:	Durchschnittliche Körperoberfläche und Wärmeabgabe je Personengruppe	40
Tabelle 17:	Tierarten und Wärmeabgabe je Tierart	42
Tabelle 18:	Arten und Warmwasserbedarf von Warmwasserentnahmen	52
Tabelle 19:	Untergliederung der Kochanzahl pro Woche und Annahmen für die Berechnung	53
Tabelle 20:	Änderungen des Bestimmtheitsmaßes durch Variation des Parameters $\tau_{\text{Öffnen,OG}}$	56

Tabelle 21:	Liste aller Optimierungsparameter, deren Reihenfolge im Optimierungsprozess, deren Abkürzungen und Einheiten sowie deren Ausgangswerte und optimierte Werte	59
Tabelle 22:	Verwendete Abkürzungen.....	91
Tabelle 23:	Untersuchte Gebäudetypen	91
Tabelle 24:	WA 0 – Außenwand nicht hinterlüftet	92
Tabelle 25:	WA 1 – Außenwand hinterlüftet (mit Installationswand)	92
Tabelle 26:	WA 2 – Außenwand hinterlüftet (ohne Installationswand)	93
Tabelle 27:	WA 3 – Außenwand gegen Erdreich nicht dicht	93
Tabelle 28:	WA 4 – Außenwand Absenkung gegen Erdreich	93
Tabelle 29:	DA 1 – Dach	94
Tabelle 30:	FB 1 – Decke über EG.....	94
Tabelle 31:	FB 2 – Wohnbereich gegen Keller	94
Tabelle 32:	FB 3 – Wohnbereich gegen Erdreich	95
Tabelle 33:	FB 5 – Keller gegen Erdreich	95
Tabelle 34:	TW 1 – Trennwand zu Stiegenabgang.....	95
Tabelle 35:	TW 2 – Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Keller	96
Tabelle 36:	TW 3 – Trennwand abgesenkter Wohnbereich gegen Erdreich	96
Tabelle 37:	ST 1 – Holzfertigteilstiege - Trittstufe	96
Tabelle 38:	ST 2 – Holzfertigteilstiege - Setzstufe	96
Tabelle 39:	IT 1 – Innentür zu Stiegenabgang	97
Tabelle 40:	AT 1 – Außentür	97
Tabelle 41:	AF 1 – Fenstertüre EG.....	97
Tabelle 42:	AF 2 – Fenster EG Fixverglasung einfach.....	97
Tabelle 43:	AF 3 – Fenster EG Fixverglasung doppelt	97
Tabelle 44:	AF 4 – Fenster EG doppelt Fixverglasung und Fenstertür.....	98
Tabelle 45:	AF 5 – Fenster OG – unten fix, oben offenbar.....	98
Tabelle 46:	AF 6 – Fenster zum Lichtschacht.....	98
Tabelle 47:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-HH.....	99

Tabelle 48:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-HH ...	99
Tabelle 49:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-PH	100
Tabelle 50:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-oK-PH..	100
Tabelle 51:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKu-PH.....	101
Tabelle 52:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKu-PH	101
Tabelle 53:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-HH.....	102
Tabelle 54:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-HH	102
Tabelle 55:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-PH.....	103
Tabelle 56:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs A-mKb-PH	103
Tabelle 57:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-oK-PH	104
Tabelle 58:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-oK-PH..	104
Tabelle 59:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-HH.....	105
Tabelle 60:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-HH	105
Tabelle 61:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-PH.....	106
Tabelle 62:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKu-PH	106
Tabelle 63:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-HH.....	107
Tabelle 64:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-HH	107
Tabelle 65:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-PH.....	108
Tabelle 66:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs B-mKb-PH	108
Tabelle 67:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-oK-PH.....	109
Tabelle 68:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-oK-PH .	109
Tabelle 69:	Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-HH.....	110
Tabelle 70:	Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-HH	110

Tabelle 71: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-PH.....	111
Tabelle 72: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKu-PH	111
Tabelle 73: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKb-HH.....	112
Tabelle 74: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs C-mKb-HH	112
Tabelle 75: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-oK-PH.....	113
Tabelle 76: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-oK-PH .	113
Tabelle 77: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKu-PH.....	114
Tabelle 78: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKu-PH	114
Tabelle 79: Opake Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKb-PH.....	115
Tabelle 80: Transparente Hüllflächen des konditionierten Volumens des Typs D-mKb-PH	115

Literaturverzeichnis

- [ADA16] ADAC e.V. <https://www.adac.de/infotestrat/fahrzeugkauf-und-verkauf/neufahrzeuge/verbrauch/default.aspx#tabid=tab1> (2.1.2016)
- [AND09] Andersen, Rune: Occupant Behaviour with Regard to Control of the Indoor Environment. Copenhagen: Technical University of Denmark, Ph.D Thesis, Mai 2009.
- [BED14] Bednar, Thomas; Korjenic, Azra: IEA Energie in Gebäuden und Kommunen. Annex 53: Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden. Analysen und Bewertungsmethoden. In: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Schriftenreihe 18/2014. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, August 2013.
- [DED16] De Dietrich Thermique. http://www.dedietrich-heiztechnik.com/download/file?file=var/ddth/storage/original/application/fa1b7cbe33d4b685c901dac61291c02a.pdf&filename=300019260A_web.pdf (3.1.2016)
- [EAV12] Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012. Bundesgesetz über die Pflicht zur Vorlage eines Energieausweises beim Verkauf und bei der In-Bestand-Gabe von Gebäuden und Nutzungsobjekten. StF: BGBl. I Nr. 27/2012.
- [ENE16] Energieausweis.at – Energieausweiserstellung in Österreich. <http://www.energieausweis.at/energieausweis-informationen.htm> (2.1.2016)
- [ENI07a] EN ISO 13370. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung, Dezember 2007.
- [ENI07b] EN ISO 13789. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung, Dezember 2007.
- [ENI08] EN ISO 13790. Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung, März 2008.
- [ERL15] Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ und zum OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, März 2015.

- [GUE09] Guerra Santin, Olivia; Itard, Laure; Visscher, Henk: The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. In: Energy and Buildings, 41(11), S. 1223-1232, 2009.
- [HAA98] Haas, Reinhard; Auer, Hans; Biermayr, Peter: The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. In: Energy and Buildings, 27(2), S. 195-205, 1998.
- [HAR14] Harreither, Christoph; Morishita, Naomi; Bednar, Thomas: Prediction of indoor climate based on questionnaires. In: "NSB", Paper-No. 171, 8 S. Lund: 10th Nordic Symposium on Building Physics, 2014.
- [IMA07] Imagecreator: Correlation examples. In: Wikimedia Commons, Public Domain, 2007.
- [LAR10] Larsen, Tine et al.: Occupants influence on the energy consumption of Danish domestic buildings - State of the art. Aalborg: Aalborg University, DCE Technical Report No. 110, 2010.
- [LEI15] Leitfaden. Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, März 2015.
- [MÜL07] Müller, Manfred: Ernährungsmedizinische Praxis. Methoden – Prävention – Behandlung. 2., vollständig neu bearbeitete Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2007.
- [OIB14] OIB-Erläuterung der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen OIB-Dokumenten, den Österreichischen und Europäischen Normen zur Umsetzung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) – Übergreifendes Dokument. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, 31.12.2014.
- [OIB15] OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, März 2015.
- [ÖNO11a] ÖNORM B 8110-5. Wärmeschutz im Hochbau. Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. Wien: Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut, 1.3.2011.
- [ÖNO11b] ÖNORM H 5056. Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Heiztechnik-Energiebedarf. Wien: Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut, 1.3.2011.

- [ÖNO12] ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Wien: Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut, 15.03.2012.
- [ÖNO14] ÖNORM B 8110-6. Wärmeschutz im Hochbau. Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Wien: Austrian Standards Institute / Österreichisches Normungsinstitut, 15.11.2014.
- [PLU95] Plumb, Donald: Conversion tables for weight in kilograms to body surface area (m²). In: Plumb, Donald: Veterinary Drug Handbook. Ames: Iowa State University Press, 1995, S. 739.
- [RIC13] Riccabona, Christof; Bednar, Thomas: Baukonstruktionslehre 4. Bauphysik. 9., überarbeitete Aufl. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH, 2013.
- [SCH16] Schöner, Wolfgang; Panzenböck, Michaela: Tiere in Polarregionen. <http://www.zamg.ac.at/bipolar/material/unterrichtsmaterialien1-brgmachettigasse.pdf> (6.1.2016)
- [SPE05] Specht, E.: Der Mensch als wärmetechnisches System (Mess- und Regelungsmechanismus der Betriebstemperatur, Wärmeabgabe, Energieerhaltung, Gewichtsänderung, Behaglichkeit). Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 17.5.2005.
- [UNI16] Universität für Bodenkultur Wien. <https://meteo.boku.ac.at/wetter/monarchiv/2014/201408/201408.html> (6.1.2016)
- [VDI12] VDI 6007 Blatt 3. Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden. Modell der solaren Einstrahlung. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V., April 2012.
- [VIV14] Vivid Planet Software GmbH. <http://www.mapcoordinates.net> (25.8.2014)
- [WER16] Wernig, Johann KG Kunststoff- u. Lüftungstechnik. http://www.wernig.at/fileadmin/Daten/Pdfs/Register_3.pdf (1.2.2016)
- [ZIN13] Zingerle, Martin: Entwicklung einer statistischen Methode für die Ermittlung der erforderlichen Stichprobengröße zur Qualitätssicherung der Luftdichtheit von Gebäuden. Wien: Technische Universität Wien, Diplomarbeit, 2013.