

MOBASY-Teilbericht

Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich

Realistische Bilanzierung und Quantifizierung von Unsicherheiten als Grundlage
für den Soll-Ist-Vergleich beim Energieverbrauchscontrolling

Forschungsprojekt

MOBASY

**Modellierung der Bandbreiten und systematischen
Abhängigkeiten des Energieverbrauchs
zur Anwendung im Verbrauchscontrolling
von Wohngebäudebeständen**

(Verbundvorhaben Solares Bauen FKZ 03SBE0004A)

Darmstadt, 31.03.2021

Autoren: Tobias Loga
Marc Großklos
André Müller
Stefan Swiderek
Guillaume Behem

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Titel: Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich (MOBASY-Teilbericht).
Realistische Bilanzierung und Quantifizierung von Unsicherheiten
als Grundlage für den Soll-Ist-Vergleich beim Energieverbrauchscontrolling

Autoren: Tobias Loga
Marc Großklos
André Müller
Stefan Swiderek
Guillaume Behem

in Kooperation mit: Nassauische Heimstätte | Wohnstadt, Frankfurt am Main
Wohnbau Gießen GmbH
bauverein AG, Darmstadt

Wir bedanken uns herzlich für die gute Zusammenarbeit!

Darmstadt, 31.03.2021

ISBN 978-3-941140-67-7

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)
Rheinstraße 65
64295 Darmstadt
Germany

Telefon +49 (0)6151 2904-0
Fax +49 (0)6151 2904-97
Internet www.iwu.de

Inhalt

Zusammenfassung / Abstract	5
1 Das Konzept	6
1.1 Aufgabenstellung Verbrauchscontrolling in Wohnungsunternehmen	6
1.2 Zusammenhang mit dem strategischen Energiemanagement von Gebäudebeständen ..	6
1.3 Schritte bei der Anwendung des Verfahrens im Verbrauchscontrolling.....	8
2 Methoden und Werkzeuge für die Umsetzung.....	10
2.1 Gebäudetabelle / Basis-Monitoring-Indikatoren	10
2.2 Übersetzung in Modell-Eingangsvariablen.....	14
2.3 Bewertung der Datenqualität und Einstufung der Unsicherheit	17
2.4 Verbrauchsdaten	20
2.5 Bedarfsberechnung / Realbilanzierung mit Unsicherheitsabschätzung	24
2.6 Vergleichswerte Bedarf	29
2.7 Erwartungsbereich Verbrauch	30
3 Besondere Herausforderung: realistische Abschätzung der U-Werte für Bestandsgebäude..	31
3.1 Der U-Wert opaker Bauteile.....	31
3.2 Resultierende Gesamtunsicherheit des U-Wertes opaker Konstruktionen.....	41
3.3 Der U-Wert von Fenstern	46
4 Illustration des Rechengangs an einem Beispielgebäude	49
4.1 Überblick	49
4.2 Erfassungsbögen für die Energieprofil-Indikatoren	51
4.3 Demo-Rechenblätter Real-Bilanz (TABULA-Verfahren)	54
4.4 Energiebilanz-Diagramme	60
5 Anwendung auf die MOBASY-Gebäude-Sammlung.....	62
5.1 Energieverbrauch und Energiebedarf der betrachteten Gebäude	62
5.2 Auffällige Gebäude	66
5.3 Umsetzung von Maßnahmen des Verbrauchscontrollings	72
5.4 Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf / Kalibrierung der Realbilanz	73
5.5 Energieverbrauch in Abhängigkeit von Zustandsparametern.....	78
6 Resümee und Ausblick.....	82

+++ A N H A N G +++	84
Anhang A – Literatur-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	84
A.1 Literaturverzeichnis	84
A.2 Abbildungsverzeichnis	85
A.3 Tabellenverzeichnis	89
A.4 Verzeichnis der Rechenregeln	92
Anhang B – Indikatoren, Formulare und Rechenblätter	94
B.1 Basis-Monitoring-Indikatoren – Variablen, Kategorien und Erläuterungen	94
B.2 Übersicht Excel-Werkzeug „EnergyProfile“	103
B.3 Erfassungsbögen für ein Beispielgebäude	104
B.4 Demo-Rechenblätter für ein Beispielgebäude	113
B.5 Überblick Energiebilanz	122
Anhang C – Eingangsdaten der U-Wert-Schätzung – Herleitung der Pauschalwerte und Unsicherheiten	125
C.1 Bauteile ohne nachträgliche Dämmung	125
C.2 Flächenanteil von Wärmeschutz-Modernisierungen	143
C.3 Dämmstoffstärken	145
C.4 Wärmeleitfähigkeit von Dämm-Maßnahmen	147
C.5 Resultierende Unsicherheit des U-Wertes gedämmter Konstruktionen	151
C.6 Pauschalansatz für Fenstertypen	163
Anhang D – Rechenregeln für die U-Wert-Schätzung – Umgang mit fehlenden Daten und Fehlerfortpflanzung	180
D.1 Ermittlung der Modell-Eingangsvariablen / Behandlung unvollständiger oder fehlender Eingaben bei den Energieprofil-Erhebungsgrößen	180
D.2 Zuordnung zu den Bauteilarten (TABULA-Energiebilanzverfahren)	195
D.3 Pauschalwerte für die Ermittlung der U-Werte	196
D.4 Unsicherheit der U-Werte	202

Zusammenfassung / Abstract

Es wird eine Methodik für das Verbrauchscontrolling in Wohnungsunternehmen vorgestellt und für eine Sammlung von Gebäuden beispielhaft angewendet. Ziel ist es durch einen Soll-Ist-Vergleich den Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser kontinuierlich zu überwachen, sowohl zur Begrenzung der Heizkosten für die Mieter als auch zur Minderung der Treibhausgasemissionen. Anstelle der Normbilanzierung nach dem Gebäudeenergiegesetz soll hier eine aus physikalischer Sicht möglichst realistische Energiebilanzierung durchgeführt werden, wobei auch die Unsicherheiten der Eingangsdaten und des Berechnungsergebnisses abgeschätzt werden.

Methodische Basis ist ein Satz von Monitoring-Indikatoren, der in einer Gebäudetabelle für den Gebäudebestand des Wohnungsunternehmens gepflegt wird. Die Indikatoren werden in Eingangsvariablen für das Energiebilanzmodell übersetzt und gleichzeitig – entsprechend der Vollständigkeit der Informationen und der Art der Datenquelle – eine Einstufung in Unsicherheitsklassen vorgenommen. Fehlen in der Gebäudetabelle Informationen, so werden für Gebäude dieser Art und dieses Alters typische Eigenschaften herangezogen und gleichzeitig für die Modelleingangsvariable eine höhere Unsicherheit angesetzt. Aus den verschiedenen Unsicherheiten der Eingangsgrößen ergibt sich eine gewisse Gesamtunsicherheit des berechneten Endenergiebedarfs. Für eine Sammlung von 129 überwiegend modernisierter Mehrfamilienhäuser von drei Wohnungsunternehmen wurde ein solcher Soll-/Ist-Vergleich auf der Basis der verfügbaren Daten durchgeführt. Gebäude mit auffälligen Verbrauchswerten wurden identifiziert, die dann im Rahmen vertiefter Analysen betrachtet werden sollen.

A methodology for energy controlling in housing companies is introduced and the implementation for a compilation of buildings is presented. The aim is to continuously monitor the energy consumption for heating and hot water by comparing it with target values, which is both in the interests of the tenants and necessary from the perspective of climate protection. The calculated energy performance is supposed to be as realistic as possible from a physical point of view offering also an indication about the uncertainties of the calculation. Since the standard calculation according to the German energy law is not suited to this requirement a new approach needs to be followed. The methodological basis is a set of monitoring indicators that is maintained in a data table for the building portfolio of the housing company. The indicators are transformed to input variables for the energy balance model and, in addition, classified in uncertainty categories, depending on the completeness of information and the type of data source. If there is a lack of information, pre-defined properties typical for buildings of the given type and age are used and, at the same time, a higher uncertainty is assumed for the model input variable. The various uncertainties of the input variables result in a particular overall uncertainty of the calculated final energy demand. For a compilation of 129 mostly refurbished apartment buildings from 3 housing companies, such an actual / target comparison was carried out on the basis of the available data. Buildings with noticeable consumption values were identified, which will subsequently be considered in the context of in-depth analyses.

1 Das Konzept

1.1 Aufgabenstellung Verbrauchscontrolling in Wohnungsunternehmen

Viele Wohnungsunternehmen investieren bereits erhebliche Mittel in die energetische Modernisierung ihrer Gebäude, wobei als Motivation besonders der Klimaschutz, aber auch die Verbesserung des thermischen Wohnkomforts und die Verringerung von Verbrauchskosten für ihre Mieter eine Rolle spielen. Bei Entscheidungsträgern herrscht teilweise jedoch eine gewisse Unsicherheit, ob die Verbrauchsziele nach Modernisierung in der Praxis tatsächlich erreicht werden und somit auch die angestrebten CO₂-Emissionsminderungen.

Das Teilprojekt A im Forschungsvorhaben MOBASY¹ widmet sich der Aufgabe, durch energetische Modernisierung erreichte Verbrauchswerte systematisch zu erfassen und mit dem erwarteten Energieverbrauch zu vergleichen. Als Grundlage für den Soll-Ist-Vergleich wird eine realistische energetische Bilanzierung benötigt, die bei der Bewertung des energetischen Zustands die bestehenden Unsicherheiten mitberücksichtigt.

Im Projekt wird eine adäquate Methodik entwickelt und in Zusammenarbeit mit den drei Wohnungsunternehmen Bauverein AG Darmstadt, Wohnbau Gießen und Nassauische Heimstätte Wohnstadt auf eine Stichprobe ihrer modernisierten Bestände angewendet. Der Fokus liegt dabei auf dem Teilsegment der Bestände, für die eine Verbrauchsabrechnung nach Heizkostenverordnung vorgenommen wird. Mit betrachtet werden aber auch gebäudeaggregierte Verbrauchswerte aus der direkten Abrechnung zwischen Fernwärmeversorger und Mietern.

Die im Projekt bisher vorgenommenen Arbeiten umfassen die Entwicklung einer einheitlichen Datenstruktur, die Zusammenführung von Gebäudedatensätzen, den Soll-Ist-Vergleich für die Verbrauchskennwerte. Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens sollen für auffällige Verbrauchswerte die Ursachen gefunden und gegebenenfalls behoben werden. Weiterhin steht die Frage an, in welcher Weise Verbrauchsbenchmarks gebildet werden sollen und wie das Verbrauchscontrolling in unternehmensinterne Prozesse eingebunden werden kann.

1.2 Zusammenhang mit dem strategischen Energiemanagement von Gebäudebeständen

Das Verbrauchscontrolling in MOBASY stellt einen Teilaspekt eines strategischen Energiemanagements von Gebäudeportfolios dar. Es besteht aus den folgenden auf verschiedene Zielsetzungen ausgerichteten und dennoch ineinandergreifenden Bausteinen:

- **Basis-Monitoring-Indikatoren:** Die Basis-Monitoring-Indikatoren umfassen die wichtigsten Informationen zur Charakterisierung der energetischen Qualität eines Gebäudes und werden bei allen energierelevanten Prozessen (Neubau, Modernisierung, Ausstellung Energiebedarfs-/verbrauchsausweis, Energieberatung, Förderantrag, Stichprobenerhebung, Verbrauchsabrechnung, ...) erfasst, gepflegt und dokumentiert (vgl. [Loga et al. 2019] Kapitel 7.1). Die Indikatoren werden im Abschnitt 2.1 des vorliegenden Berichts näher erläutert.

¹ Das Forschungsprojekt MOBASY ist ein Verbundvorhaben von Institut Wohnen und Umwelt, Hochschule Darmstadt und Neuer Wohnraumhilfe Darmstadt und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert (Solares Bauen FKZ 03SBE0004A-C). Als Praxispartner involviert sind die drei Wohnungsunternehmen Bauverein AG Darmstadt, Wohnbau Gießen und Nassauische Heimstätte Wohnstadt.

- **Monitoring-Tabelle mit Basis-Indikatoren:** Eine Monitoring-Tabelle enthält Datensätze von größeren Gebäudebeständen und umfasst je Gebäude mindestens die Basis-Monitoring-Indikatoren inklusive Versionierung mit Zeitstempel für den Fall energetischer Modernisierungen. Übergreifende Analysen ermöglichen zum Beispiel die Ermittlung des Wärmeschutz-Modernisierungsstands bzw. der jährlichen Wärmeschutz-Modernisierungsrate im betreffenden Bestand.
- **Verbrauchstabelle:** Die Daten aus der jährlichen Heizkostenabrechnung werden in einer gebäudescharfen Verbrauchstabelle gesammelt. Damit können (zumindest für einen Teil des Bestands) jährlich der Energieverbrauch differenziert nach Energieträger verfolgt und die CO₂-Emissionen zugeordnet werden.
- **Vereinfachte Energiebilanz:** Auf Grundlage der in der Monitoring-Tabelle enthaltenen Basis-Indikatoren kann der energetische Zustand der Hülle abgeleitet und eine einfache Energiebilanz berechnet werden (vgl. [KV Energieprofil 2005]). Durch diese Bilanzierung werden je Gebäude die Kennwerte für Wärme- und der Endenergiebedarf ermittelt, die als Messgrößen für die energetische Qualität von Gebäudehülle und Wärmeversorgung dienen. Übergreifende Analysen erlauben beispielsweise die Ermittlung der Häufigkeit unsanierter oder auch energetisch hochwertig modernisierter Gebäude.
- **Verbrauchscontrolling mit Soll-Ist-Vergleich:** Der Vergleich des gemessenen Energieverbrauchs aus der Heizkostenabrechnung mit dem über die vereinfachte Energiebilanz ermittelten Energiebedarf ermöglicht die Verfolgung des tatsächlich erreichten Verbrauchsniveaus und die Identifizierung von bezüglich ihres Energieverbrauchs auffälligen Gebäuden (vgl. [Loga et al. 2020a]).
- **Maßnahmen im Verbrauchscontrolling:** Bei einem deutlichen Mehrverbrauch können die Ursachen ermittelt und entsprechende Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs auf das erwartete Niveau ergriffen werden. Liegt der Energieverbrauch deutlich unter der Erwartung, so kann dies ein Hinweis auf Energiespar-Maßnahmen sein, die bisher in der Monitoring-Tabelle nicht erfasst wurden. Das MOBASY-Verbrauchscontrolling dient dabei vor allem der Qualitätssicherung nach erfolgter energetischer Modernisierung: Es wird sichergestellt, dass das anvisierte Verbrauchsniveau tatsächlich erreicht wird und die Monitoring-Tabelle die tatsächliche Qualität der Gebäude widerspiegelt.
- **Vergleichswerte für den Energieverbrauch bzw. nach dem energetischen Zustand differenzierte Verbrauchsbenchmarks:** Aus den im Rahmen des Verbrauchscontrollings durchgeführten Analysen werden Vergleichswerte für den Energieverbrauch abgeleitet, die Informationen über das tatsächliche Verbrauchsniveau geben, das durch verschiedene Technologien erreicht wird ([Loga et al. 2019] Kapitel 4.2 / „Baustein A“; [Loga et al. 2020c]). Dies ermöglicht zum einen die zuverlässige Einordnung von Überlegungen und Entscheidungen zur Umsetzung von Maßnahmen in einzelnen Gebäuden oder Gebäudegruppen des Bestands im Rahmen der Modernisierungsplanung und der Umsetzung einer Klimaschutzstrategie sowie die Vermittlung der Entscheidungen im Wohnungsunternehmen. Empirisch ermittelte Verbrauchswerte modernisierter Gebäude können aber auch im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit dazu genutzt werden, das Vertrauen in die Wirkung der Modernisierungsmaßnahmen bei Mietern, Investoren und anderen interessierten Kreisen zu stärken.
- **Kalibrierung der rechnerischen Energiebilanz:** Der ermittelte Energiebedarf wird in verschiedene Klassen eingeteilt und für alle Gebäude einer Bedarfsklasse wird der Mittelwert des Verbrauchs gebildet. Je Bedarfsklasse kann so auch das Verhältnis aus mittlerem Verbrauch und mittlerem Bedarf bestimmt werden. Multipliziert man den für ein konkretes Gebäude ermittelten Energiebedarf mit diesem empirisch abgeleiteten Verhältnis, so wird der Energiebedarf auf das typische Verbrauchsniveau kalibriert: Die Kalibrierungsfaktoren ermöglichen also die Schätzung des Verbrauchs für einzelne Gebäude (vgl. [WG-Typologie-DE 2015] Anhang B.1). Stellt man fest, dass der Wert des Kalibrierungsfaktors systematisch vom Energiebedarf oder anderen Größen abhängt, so kann (z.B. über Regressionsanalyse) eine entsprechende funktionale Beziehung definiert werden (vgl. [Hörner et al. 2016], [Loga et al. 2019] Kapitel 4.3 / „Baustein B“ und [Loga / Stein 2020]).

- **Normbilanz und Realbilanz:** Die auf den oben genannten Basis-Monitoring-Indikatoren basierende Energiebilanz-Berechnung kann mit dem gesetzlichen Nachweisverfahren nach dem geltenden Gebäudeenergiegesetz umgesetzt werden. Hiermit ist bereits ein einfaches Verbrauchscontrolling möglich ([Loga et al. 2020a], Zusammenfassung in [Loga et al. 2020c]). Wenn im Bestand Informationen fehlen, wird dabei allerdings immer von einer ungünstigen Situation ausgegangen. Damit werden unbekannte und tatsächlich ungünstige Situationen gleichgesetzt, was eine deutlich größere Unschärfe der Aussagen mit sich bringt. Dabei ist es aus systematischen Gründen auch schwierig, diesem tendenziell auf der sicheren Seite liegenden Energiebedarf der Normbilanzierung eine Unsicherheit zuzuordnen. Der auf das typische Verbrauchsniveau kalibrierte Normenergiebedarf liefert also im Mittel bzw. für den Gesamtbestand zuverlässige Informationen zum Verbrauch, hat jedoch bei der Prognose der Wirkung von Einzelmaßnahmen oder Verhaltensänderungen deutliche Schwächen.
Zielführender ist es daher, in allen Teilbereichen der Energiebilanz (thermische Hülle, Anlagentechnik, Nutzung, Klima) von möglichst realistischen Ansätzen auszugehen. Fehlen bei dieser „Realbilanz“ an einzelnen Stellen Informationen, so wird die ganze Bandbreite der Möglichkeiten berücksichtigt, indem in die Berechnung der mittlere Wert und die zugehörige Unsicherheit einfließt (vgl. [Loga et al. 2019] Kapitel 4.5 / „Baustein C“).
- **Modell Gesamtbestand:** Auf der Basis der Monitoring-Tabelle und der daran anknüpfenden Energiebilanzierung können Aussagen über Energieverbrauch, Energiekosten, Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen für den Gesamtbestand gemacht werden. Dies erlaubt die Konzeption von Szenarien für die Entwicklung des Energieverbrauchs bei unterschiedlichen Modernisierungsstrategien und die Festlegung von Meilensteinen, die im Rahmen der kontinuierlichen Verbrauchsauswertung überprüfbar sind. Bei größeren Beständen kann es sinnvoll sein, zu diesem Zweck je Baualtersklasse und Größenkategorie eine Aggregation der Datensätze der Einzelgebäude zu „mittleren Gebäuden“ vorzunehmen, die dann den jeweiligen Typ energetisch repräsentieren [Diefenbach et al. 2016].²

1.3 Schritte bei der Anwendung des Verfahrens im Verbrauchscontrolling

Im Rahmen eines unternehmensinternen Verbrauchscontrollings ist eine jährliche Überprüfung der Verbrauchswerte anzustreben. Ein guter Zeitpunkt ist das Vorliegen aller Verbrauchsabrechnungen des Vorjahres in der Verbrauchsdatenbank.

Die Schritte des Verbrauchscontrollings sind:

Datenerfassung und Berechnung

- Aktualisierung der Basis-Monitoring-Indikatoren aller Gebäude in der Gebäudetabelle; dabei Erfassung von Änderungen (neue Datensatzversion mit Zeitstempel) und von Bauphasen, für die wegen des undefinierten Zustands kein Verbrauchscontrolling möglich ist;
- Bei neuen Datensätzen oder Änderungen vereinfachte Berechnung des Energiebedarfs (ausgehend von den Indikatoren, der Realbilanz, dem mittlerem Klima am Standort);

² Ein Beispiel hierfür sind die im Kontext des EU-Projekts EPISCOPE als einheitliches Modell für die Abbildung von Gebäudebeständen aus verschiedenen Ländern gebildeten „Average Buildings“. Das Modell basiert auf der TABULA-Berechnungsmethode und kann im Abschnitt „Building Stocks“ im TABULA WebTool nachvollzogen werden: <https://episcopes.eu/monitoring/average-buildings/> | <http://webtool.building-typology.eu/>. Hier der direkte Link zu dem aus [Diefenbach et al. 2016] in das EPISCOPE-Berechnungsschema „Average Buildings“ übersetzte Modell für den deutschen Wohngebäudebestands (Zustand 2009): http://s2.building-typology.eu/abpdf/DE_N_01_EPISCOPE_CaseStudy_TABULA_National.pdf

- Übertragung der Verbrauchsdaten aus der Heizkostenabrechnung des Vorjahres in die Gebäudetabelle; Überprüfung, ob der erfasste Zustand zu den Verbrauchsdaten passt;
- Festlegung des Betrachtungszeitraums für das Verbrauchscontrolling, gegebenenfalls individuelle Anpassungen (z.B. bei vom Kalenderjahr abweichenden Zeiträumen);
- Ermittlung der „Vergleichswerte Energiebedarf“ für alle Gebäude (Modifikation des Realbilanz-Energiebedarfs: Kalibrierung mit Klimadaten des Verbrauchsjahrs + Anpassung an Messpunkt Verbrauch)

Die in MOBASY verwendete Methodik für diese Schritte ist im folgenden Kapitel in den Abschnitten 2.1 bis 2.6 beschrieben.

Analyse der Ergebnisse und Identifikation von Gebäuden mit auffälligen Verbrauchswerten

- Ausgabe / grafische, gebäudescharfe Darstellung:
 - Energiekennwerte Verbrauch-Bedarf-Vergleich: Gegenüberstellung gemessener Energieverbrauch und Vergleichswert Energiebedarf (inklusive Unsicherheit): Heizung & Warmwasser, nur Heizung, nur Warmwasser, Volumen Warmwasser – je nach Verfügbarkeit der gemessenen Verbrauchsdaten;
 - relative Abweichung des Verbrauchs vom Vergleichswert Bedarf und Überschreitung des Unsicherheitsbereiches; Feststellung:
 - (a) „unauffällig“ (Betrag Abweichung $\leq$ Unsicherheit)
 - (b) „auffällig“ (Betrag Abweichung $>$ Unsicherheit)
 - (c) „extrem“ (Betrag Abweichung $> 2 \times$ Unsicherheit)
- Ausgabe / grafische Darstellung für Gesamtheit:
 - Verbrauchskennwerte aufgetragen über Bedarfskennwerten: Verbrauchsbenchmarks (je Bedarfsklasse) und Kalibrierungsfaktoren Realbilanz
 - Verbrauchskennwerte aufgetragen über Wärmeschutzqualität Gebäudehülle: Verbrauchsbenchmarks für unterschiedliche Effizienzklassen der Gebäudehülle

Die Methodik für die Einstufung ist im Abschnitt 2.7 des folgenden Kapitels dokumentiert. Die für die MOBASY-Gebäudesammlung entsprechend durchgeführten Analysen finden sich im Kapitel 5 des vorliegenden Berichts.

Überprüfung der Gebäude mit auffälligen Verbrauchswerten

- Prüfung des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs und gegebenenfalls Korrektur der Eingaben:
 - Prüfung der Bilanzanteile der Realbilanz auf Plausibilität (Heizwärmebedarf mit Anteilen für Transmission, Lüftung, solare und innere Gewinne + zugehörige Unsicherheiten)
 - Prüfung des Verbrauchs und der Zuordnung zu den Vergleichswerten auf Plausibilität (Vollständigkeit, Einheiten der Messgrößen, Warmwasseranteil, ...)
- Beschaffung und Prüfung von Unterlagen zum energetischen Zustand (Modernisierungsunterlagen, Nachweise, Fotos, ...) und zum Verbrauch (Liegenschaftsabrechnung, Rechnung für Brennstofflieferung, ...); bei Nicht-Übereinstimmung Korrektur der Monitoring-Indikatoren oder der Verbrauchsdaten (Festhalten der Korrekturen in Anmerkungen zum Datensatz);
- Identifikation von weiterhin auffälligen Verbrauchswerten; Durchführung von Begehungen vor Ort: Datenaufnahme Grunddaten, Wärmeschutz, Wärmeleitungen, Wärmeerzeuger, Zähler zur Verbrauchserfassung; bei Nicht-Übereinstimmung Korrektur der Monitoring-Indikatoren bzw. der Metadaten zum Verbrauch (Festhalten der Korrekturen in Anmerkungen zum Datensatz); darüber hinaus Aufnahme des aktuellen Betriebszustands der Wärmeversorgung (Temperaturen Vorlauf/Rücklauf, Betrieb Pumpen, ...) und Einstellungen der Regelung;
- Bei Auffälligkeiten bezüglich Wärmeschutz (Gebäude und Anlagentechnik), Betriebsführung, Nutzerverhalten, usw. Veranlassung von sinnvollen Maßnahmen;

- Abfassung eines Kurzberichts über Auffälligkeiten und festgestellte bzw. vermutete Ursachen und veranlasste Maßnahmen; gegebenenfalls Vorschlag von Änderungen in den Routinen zur Datenerfassung und -bereitstellung, zur Anlagenüberwachung, zur Durchführung des Verbrauchscontrollings, ...

Diese weiteren Schritte des Verbrauchscontrollings stehen für die MOBASY-Gebäudesammlung noch aus.

2 Methoden und Werkzeuge für die Umsetzung

2.1 Gebäudetabelle / Basis-Monitoring-Indikatoren

Als Grundlage für das Monitoring des Gebäudezustands und des Energieverbrauchs dient ein Satz von Indikatoren, der in ähnlicher Form bereits bei den Datenerhebungen zum deutschen Wohngebäudebestand verwendet wird ([Diefenbach et al. 2010] und [Cischinsky / Diefenbach 2018]). Die Abfrage der Daten umfasst im Wesentlichen die folgenden Größen (siehe auch [Loga et al 2019] Kapitel 7.1):

- Grunddaten (Wohnfläche, Anzahl Vollgeschosse, Beheizungssituation im Keller- und Dachgeschoss, Anzahl Nachbargebäude, Anzahl Wohnungen, Jahr der erfassten Grunddaten, ...);
- energetische Qualität der thermischen Hülle (Baujahr, Art der Konstruktionen, Dämmstärken, Jahr der Dämmung, Jahr der erfassten energetischen Qualität, ...);
- Charakterisierung des Wärmeversorgungssystems (Typen der Wärmeerzeugung, -speicherung, -verteilung für Heizung und Warmwasser; Einsatz erneuerbarer Energien; Jahr der Installation / Erneuerung; Jahr des erfassten Versorgungssystems, ...);
- gemessener Energieverbrauch (Energieträger, Maßeinheit, Verbrauch, Verbrauchszeitraum, Zuordnung zum energetischen Zustand entsprechend den oben genannten Kriterien, ...);
- zusätzlich sofern vorhanden: Ergebnisse des Normnachweises nach EnEV bzw. GEG (Transmissionswärmeverlust, Heizwärmebedarf, Endenergiebedarf differenziert nach Energieträger und Anwendung (Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie, Version des EnEV-Rechenverfahrens, ...).

Die Basis-Monitoring-Indikatoren (erste drei Spiegelstriche) orientieren sich an Angaben, die ein (kundiger, technisch versierter) Gebäudeeigentümer in einer Befragung machen kann bzw. was in einer Vor-Ort-Aufnahme in höchstens einer halben Stunde feststellbar ist. Als Grundlage hierfür wurde der in [KV Energieprofil 2005] entwickelte Fragebogen des „Kurzverfahrens Energieprofil“³ verwendet. Die im Zuge von MOBASY vorgenommene Überarbeitung umfasste die Aufnahme zusätzlicher Datenfelder, die Umstrukturierung der Abfragen zur Anlagentechnik und die Ergänzung der meisten Abfragen um die Option, dass Informationen nicht vorhanden sind. Die Erfassungsbögen zum Gebäude- und Anlagenzustand wurden erweitert um Formulare für die Erfassung von Verbrauchswerten sowie für die Auswahl und Modifikation von Einstellungen zur Nutzung, zum Klima und zum Verbrauch-Bedarf-Vergleich. Die Formulare für die Basis-Monitoring-Indikatoren Gebäude und Anlagentechnik sind in Bild 1 und Bild 2 dargestellt. Den aktuellen Stand aller Eingabeformulare zeigt Anhang B.3.

Zur programmtechnischen Umsetzung wurde das bereits im Rahmen des EU-Projekts ESAM entwickelte und bei dem Wohnungsunternehmen Nassauische Heimstätte Wohnstadt verwendete „EnergyProfile“-Tool (siehe Beschreibung in [Loga et al. 2020a]) modifiziert und erheblich erweitert. Die Excel-Mappe stellt den Datentransfer zwischen den Erfassungsbögen und der Monitoring-Gebäudetabelle her und koppelt die Berechnungsblätter an (siehe Anhang B.2). Bild 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Gebäudetabelle – die dort als Basis-Monitoring-Indikatoren verwendeten Datenfelder sind in Anhang B.1 aufgelistet und erläutert.

³ Excel-Umsetzungen und Hinweise auf Anwendungen finden sich auf: <https://www.iwu.de/forschung/energie/kurzverfahren-energieprofil/>

Bild 1: Erfassungsbogen Gebäude (Energieprofil-Zustandsindikatoren)
Screenshot aus dem EnergyProfile-Tool

Energieprofil		Fragebogen Gebäude																																																																								
Gebäude-Einheit	DE.MOBASY.NH.0015.01	Anzahl Häuser	1																																																																							
Variante	Ist-Zustand	Anzahl Blöcke	1																																																																							
beheizte Wohnfläche	1536 m ²	Baujahr	1976																																																																							
Anzahl Wohnungen	22	Jahr des hier dargestellten Zustands	2018																																																																							
Anzahl Vollgeschosse (ohne Dach- und Kellergeschoss)	7	lichte Raumhöhe	#NV																																																																							
		(Eintrag nur wenn < 2,30 m oder > 2,70 m)																																																																								
direkt angrenzende Nachbargebäude ☒ keins (freistehend)  ☐ auf einer Seite ☐ auf zwei Seiten ☐ keine Angabe / unbekannt 		Grundriss ☐ kompakt  ☐ normal  ☒ komplex / langgestreckt  ☐ keine Angabe / unbekannt 																																																																								
Dach ☒ Flachdach oder flach geneigtes Dach  ☐ Dachgeschoss unbeheizt  ☐ Dachgeschoss teilweise beheizt  ☐ Dachgeschoss voll beheizt  ☐ keine Angabe / unbekannt  ☐ Dachgauben oder andere Dachaufbauten vorhanden		Keller ☐ nicht unterkellert  ☒ Kellergeschoss unbeheizt  ☐ Kellergeschoss teilweise beheizt  ☐ Kellergeschoss voll beheizt  ☐ keine Angabe / unbekannt  ☒ Kellerboden und -wände gedämmt																																																																								
Thermische Hülle (nicht-transparente Elemente)																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Konstruktionsart</th> <th colspan="5">Dämmung</th> <th rowspan="2">Innendämmung der Wände</th> <th rowspan="2">Dämmstärke</th> <th rowspan="2">cm</th> <th colspan="2">% der Fläche</th> </tr> <tr> <th>massiv</th> <th>Holz</th> <th>keine</th> <th>original</th> <th>Modernisierung keine Angabe / unbekannt</th> <th>Jahr der Modernisierung</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dach</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>2010</td> <td></td> <td>10</td> <td>cm</td> <td>100</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>oberste Geschossd.</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>#NV</td> <td></td> <td>#NV</td> <td>cm</td> <td>#NV</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Außenwände</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>2010</td> <td></td> <td>14</td> <td>cm</td> <td>100</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Fußboden</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>#NV</td> <td></td> <td>0</td> <td>cm</td> <td>0</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>					Konstruktionsart		Dämmung					Innendämmung der Wände	Dämmstärke	cm	% der Fläche		massiv	Holz	keine	original	Modernisierung keine Angabe / unbekannt	Jahr der Modernisierung				%	Dach	☒	☐	☐	☐	☒	2010		10	cm	100	%	oberste Geschossd.	☒	☐	☐	☐	☒	#NV		#NV	cm	#NV	%	Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	2010		14	cm	100	%	Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	#NV		0	cm	0	%
	Konstruktionsart		Dämmung					Innendämmung der Wände	Dämmstärke	cm	% der Fläche																																																															
	massiv	Holz	keine	original	Modernisierung keine Angabe / unbekannt	Jahr der Modernisierung							%																																																													
Dach	☒	☐	☐	☐	☒	2010		10	cm	100	%																																																															
oberste Geschossd.	☒	☐	☐	☐	☒	#NV		#NV	cm	#NV	%																																																															
Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	2010		14	cm	100	%																																																															
Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	#NV		0	cm	0	%																																																															
bei ungedämmten Außenwänden: Dämmung von außen möglich? ☐ ja ☐ teilweise ☐ nein ☒ k.A. / unbekannt																																																																										
Fenster																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2">% der Fensterfläche</th> <th colspan="4">Verglasung</th> <th rowspan="2">Wärmeschutz-Vergl.</th> <th colspan="5">Rahmen</th> <th rowspan="2">gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)</th> <th rowspan="2">Jahr des Fenstereinbaus (ca.):</th> </tr> <tr> <th>1 Scheibe</th> <th>2 Scheiben</th> <th>3 Scheiben</th> <th>keine Angaben / unbekannt</th> <th>Holzrahmen</th> <th>Kunststoffrahmen</th> <th>Alu- oder Stahlrahmen</th> <th>andere</th> <th>unbekannt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Haupttyp Fenster</td> <td></td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>1990</td> </tr> <tr> <td>weiterer Typ Fenster</td> <td>0 %</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>#NV</td> </tr> </tbody> </table>					% der Fensterfläche	Verglasung				Wärmeschutz-Vergl.	Rahmen					gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):	1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere	unbekannt	Haupttyp Fenster		☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐		1990	weiterer Typ Fenster	0 %	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐		#NV																				
	% der Fensterfläche	Verglasung				Wärmeschutz-Vergl.	Rahmen					gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):																																																													
		1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt		Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere	unbekannt																																																															
Haupttyp Fenster		☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐		1990																																																													
weiterer Typ Fenster	0 %	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐		#NV																																																													
(Rest = Haupttyp Fenster) (U ≤ 0.8 W/(m²K))																																																																										

2021-01-28 22:35

Bild 2: Erfassungsbogen Anlagentechnik (Energieprofil-Zustandsindikatoren)
Screenshot aus dem EnergyProfile-Tool

Energieprofil		Fragebogen Wärmeversorgung			
Gebäude	DE.MOBASY.NH.0015.01	Standort Wärmezeugung überwiegend		Jahr der Installation	
Variante	Ist-Zustand	☐ Quartier/Stad ☐ Wohnung ☒ Block ☐ Raum ☐ Gebäude ☐ k.A.		(grob / geschätzt)	
		Heizung	Warmwasser	Gesamtes System	
Wärmeerzeugung - Zentralheizung Gebäude oder Wohnung				#NV	
Wärmeerzeuger, die über ein Wärmeverteilsystem mehrere Räume mit Wärme versorgen				Jahr	
☒ Kessel (Öl oder Gas)	Brennstoff ☒ Erdgas ☐ Heizöl ☐ Flüssiggas ☐ k.A.	Kesseltyp ☐ Konstanttemperatur ☒ Niedertemperatur ☐ Brennwert ☐ k.A.	☒	☒	#NV
					Jahr
☐ Holzkessel / Feststoffkessel	Brennstoff ☐ Scheitholz ☐ Holzpellets ☐ Holzhackschnittel ☒ Kohle ☐ andere ☐ k.A.		☐	☐	#NV
					Jahr
☐ Wärmepumpe	Wärmequelle ☐ zusätzlich direkt elektrisch ☐ Außenluft ☐ Abluft ☐ Erdreich/Grundwasser ☐ Kellerluft ☒ k.A.		☐	☐	#NV
					Jahr
☐ Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)			☐	☐	#NV
					Jahr
☐ thermische Solaranlage			☐	☐	#NV
					Jahr
☐ Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	Brennstoff ☐ Erdgas ☐ Heizöl ☐ Bio ☐ andere ☒ k.A.		☐	☐	#NV
					Jahr
☐ Fern-/Nahwärme	Brennstoff ☐ fossil ☐ Biomasse	Wärmezeugung ☐ Heizwerk (Kessel) ☐ Heizkraftwerk / BHKW	☐	☐	#NV
					Jahr
Pufferspeicher für Heizung				Jahr der Installation	
☐	☐ inklusive elektrischem Heizstab ☐ Heizungspufferspeicher innerhalb der thermischen Hülle			#NV	
				Jahr	
☒ Heizwärmeverteilung	☒ teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss) ☐ Nur mäßige oder unvollständige Leitungsdämmung ☐ Fußbodenheizung / niedrige Verteilnetztemperatur			#NV	
				Jahr	
☐ Dezentrale / raumweise Heizung	☐ Einzelöfen ☐ Holz ☐ Gas ☐ Heizöl ☐ Kohle ☒ k.A.			#NV	
				Jahr	
☐ Elektro-Heizgeräte / Elektro-Öfen				#NV	
				Jahr	
☐ elektrische Nachtspeicherheizung				#NV	
				Jahr	
☐ elektrische Wärmepumpen (raumweise)				#NV	
				Jahr	
☐ Extra-dicke Dämmung von Komponenten	Dämmstärke von Leitungen (doppelter Leitungsdurchmesser) und Speicher entsprechend Passivhaus-Empfehlungen				
				Jahr	
Warmwasserspeicher				Jahr der Installation	
☒	☐ inklusive elektrischem Heizstab ☐ Warmwasserspeicher innerhalb der thermischen Hülle			#NV	
				Jahr	
☒ Warmwasserverteilung	☒ mit Zirkulationsleitung ☒ teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss) ☒ Nur mäßige oder unvollständige Leitungsdämmung			#NV	
				Jahr	
☐ Dezentrale Warmwasserbereitung	☐ dezentrale elektrische Speicher ☐ Elektro-Durchlauferhitzer ☐ Gas-Durchlauferhitzer			#NV	
				Jahr	
Weitere Systeme				Jahr	
☐ Lüftungsanlage					#NV
					Jahr
☐ Photovoltaik-Anlage (Solarstrom)					#NV
					Jahr
☐ mit Batterie-Speicher					

Bild 3: Ausschnitt der Gebäudetabelle mit Basis-Monitoring-Indikatoren (Excel-Tabelle)
Screenshot aus dem EnergyProfile-Tool

[illegible]

2.2 Übersetzung in Modell-Eingangsvariablen

Die Basis-Monitoring-Indikatoren (Energieprofil-Variablen) dienen der systematischen Erfassung und Pflege von Daten zum energetischen Zustand der Gebäude. Sie ermöglichen es, ein Gesamtbild über den energetischen Zustand des Bestands zu bekommen. Beispielsweise können durch statistische Querschnittsanalysen der Umsetzungsgrad der Wärmeschutz-Modernisierung oder die jährliche Wärmeschutz-Modernisierungsrate ermittelt werden oder auch der Anteil der Gebäude mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, mit Elektro-Wärmepumpen oder mit Solaranlagen am Bestand bestimmt werden.

Zusätzlich dienen die Monitoring-Indikatoren auch als Grundlage für die energetische Bilanzierung der einzelnen Gebäude, also der Ermittlung der Referenzpunkte für den Soll-Ist-Vergleich im Verbrauchscontrolling. Hierzu müssen die Indikatoren in die Eingangsdaten des Energiebilanzmodells übersetzt werden (kurze Beschreibungen je Bilanzbereich siehe unten in der Spiegelstrichliste).

Innerhalb dieser Transformation ist eine Behandlung von fehlenden Eingaben (Beispiel: Dämmstärke unbekannt) sowie die Annahme bestimmter Pauschalwerte (zum Beispiel der U-Wert im unsanierten Zustand) erforderlich. Grundsätzlich wird dabei so vorgegangen, dass bei nicht vorhandenen bzw. fehlenden Informationen Mittelwerte oder typische Werte aus dem Bestand als Ersatz-Eingabewerte verwendet werden. Sofern Querschnittsanalysen für die Monitoring-Indikatoren im betrachteten Gebäudeportfolio vorliegen, könnten diese Werte hierfür herangezogen werden. Falls dies nicht der Fall ist, können Mittelwerte oder typische Werte aus der Datenerhebungen zum Wohngebäudebestand ([Diefenbach et al. 2010], [Cischinsky / Diefenbach 2018]) genutzt werden. Die konkrete Herleitung der entsprechenden Pauschalwerte ist für den besonders relevanten Bereich des Wärmeschutzes im Abschnitt 3 dokumentiert (Details der Herleitung in Anhang C; Rechenformalismus in Anhang D).

Die Verwendung von mittleren oder typischen Werten als Ersatz für fehlende Eingaben hat stets auch eine Erhöhung der Unsicherheit dieser Eingabedaten zur Folge, so dass im Verbrauchscontrolling der Erwartungsbereich des Energieverbrauchs größer wird (siehe Abschnitt 2.5, Details für U-Werte in Abschnitt 3.2).⁴

Die korrigierten Indikatoren und die Modell-Eingangsvariablen müssen strikt von den erhobenen Monitoring-Indikatoren getrennt werden und dürfen nicht statistisch ausgewertet werden.⁵

⁴ Für das Verbrauchscontrolling relevant sind Fälle, bei denen einzelne Angaben fehlen. Ist der Wärmeschutz-Zustand völlig unbekannt, sind die Gebäude zur Klärung erst einmal gesondert markiert. Im Idealfall sollte das Schema jedoch auch funktionieren, falls für ein Gebäude überhaupt keine Angaben vorliegen. Dann müsste die Realbilanzierung einen Energiebedarf ermitteln, der dem mittleren Verbrauch des gesamten Wohngebäudebestands Deutschlands entspricht und die Unsicherheit des Energiebedarfs müsste der Standardabweichung der Verbrauchskennwerte des deutschen Wohngebäudebestands entsprechen. Ob dies so funktionieren kann, müsste an anderer Stelle überprüft werden.

⁵ Um eine Verwechslung zu vermeiden, werden im „EnergyProfile“-Tool die korrigierten Monitoring-Indikatoren bewusst nicht in der Gebäude-Datentabelle ausgegeben (siehe Anhang B).

Bild 4: Schema für das zweistufige Vorgehen bei der energetischen Bilanzierung auf der Basis von Monitoring-Indikatoren (Energieprofil-Variablen)



Die Übersetzung der Energieprofil-Monitoring-Indikatoren in Modell-Eingangsvariablen wird in folgender Weise vorgenommen:

- **Hüllfläche:** Auf der Basis der Wohnfläche und der Geometriedaten (Anzahl Geschosse, Anzahl Nachgebäude, Beheizungssituation im Keller und Dach, Grundrisstyp) wird die thermische Hüllfläche geschätzt.⁶ Das durch Auswertung von realen Flächen statistisch abgeleitete Verfahren entspricht dem in [KV Energieprofil 2005] veröffentlichten Energieprofil-Flächenschätzverfahren. Die Parameter sind im EU-Projekt EPISCOPE mit Hilfe einer größeren Gebäudesammlung validiert worden [TABULA Data Eval 2015] – dort wurde auch die Unsicherheit des Verfahrens abgeschätzt.
- **U-Werte opaker Bauteile:** Für nicht modernisierte Bauteile werden pauschale U-Werte nach Baualterklassen verwendet, die aus Gebäude- und Bauteiltypologien abgeleitet wurden. Bei nachträglicher Wärmedämmung wird entsprechend dem Flächenanteil der Dämmung, der Dämmstärke und der Wärmeleitfähigkeit der Dämmung ein zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand berechnet. Fehlen Informationen für eine oder mehrere dieser drei Größen, so werden jeweils Pauschalwerte verwendet, die den Durchschnitt des deutschen Wohngebäudebestands repräsentieren (Details siehe Abschnitt 3.1).
- **U-Werte von Fenstern:** Entsprechend dem über die Energieprofil-Indikatoren ausgewählten Fenstertyp werden pauschale U-Werte inklusive Unsicherheiten aus Datentabellen ausgewählt. Die Herleitung dieser Werte aus der Statistik der Bundesverbände der Fenster- und Glashersteller und der Abgleich mit der Wohngebäudeerhebung 2016 ist in Abschnitt 3.3 dokumentiert.
- **Wärmebrücken und Luftdichtheit:** Für den Wärmebrückenzuschlag und den Restluftwechsel infolge Undichtheiten wurden die in [TABULA Calc Method 2013] dokumentierten Pauschalwerte verwendet. Die Auswahl der jeweiligen Kategorie erfolgt nur auf der Expertenebene – diese Eingaben sind auch nicht Bestandteil der Monitoring-Indikatoren. Es wird noch eine auf typologischen Merkmalen basierende Einordnung und Übersetzung in diese Stufen als Handreichung für Anwender (oder als ergänzendes, separates Formular) benötigt. Weiterhin sollten die bisherigen, auf Expertenschätzungen basierenden Zahlenwerte für beide Größen verifiziert werden.

⁶ Der Modus kann auch so geändert werden, dass statt der Wohnfläche die Grundrissfläche (identisch mit Fläche der Bodenplatte oder der Kellerdecke) als Ausgangspunkt für die Flächenschätzung dient, um auch eine Hüllflächenschätzung auf der Basis von GIS-Daten zu ermöglichen. Da jedoch für die im MOBASY-Projekt betrachteten Bestände die Wohnflächen sehr gut bekannt sind, wird dies hier nicht praktiziert.

- Wärmeversorgungsanlagen: Für die angegebenen Wärmeerzeuger werden pauschale Erzeugeraufwandszahlen, für die Wärmeverteilsysteme entsprechend den Angaben pauschale Wärmeverlustkennwerte verwendet. Die Zahlenwerte stammen ursprünglich aus [KV Energieprofil 2005], wurden im Zuge der EU-Projekte TABULA und EPISCOPE jedoch noch einmal vereinfacht und sowie auf die TABULA-Bezugsfläche konvertiert. Weiterhin wurden durch einfache Abschätzungen auch gegenüber den Vorgaben nach HeizAnIV, EnEV und GEG verdoppelte Leitungsdämmungen als Datensätze mit aufgenommen. Die verwendeten Unsicherheiten basieren auf Expertenschätzung. Derzeit wird im Rahmen von MOBASY daran gearbeitet, die Pauschalwerte und Bandbreiten mit Hilfe von Modellgebäuden zu verifizieren und zu differenzieren.
- Randbedingungen für die Nutzung: Für die Nutzungsdaten wurden Ansätze in Anlehnung an [Loga et al. 2019] (Kap. 4.5.2) verwendet. Für einige der Ansätze ist der Beleg durch Messdaten bisher nicht ausreichend, so dass nur Expertenschätzungen herangezogen werden können. Dies gilt ganz besonders für den effektiven Luftwechsel in Wohngebäuden ohne Lüftungsanlage.
- Randbedingungen für das Klima: Die Real-Klimadaten werden auf Basis der Postleitzahl des Gebäudestandortes und des Verbrauchszeitraums in die Berechnung eingespielt. Grundlage ist eine aus Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) erstellte Datenbank mit Monatswerten der Außenlufttemperatur für über 800 Stationen und Monatswerten der Globalstrahlung (verschiedene Orientierungen) für 3000 Messpunkte in Deutschland. Der Formalismus zur Erstellung der Datentabellen ist in [Loga et al. 2020b] beschrieben.

Aufgaben für die Weiterentwicklung

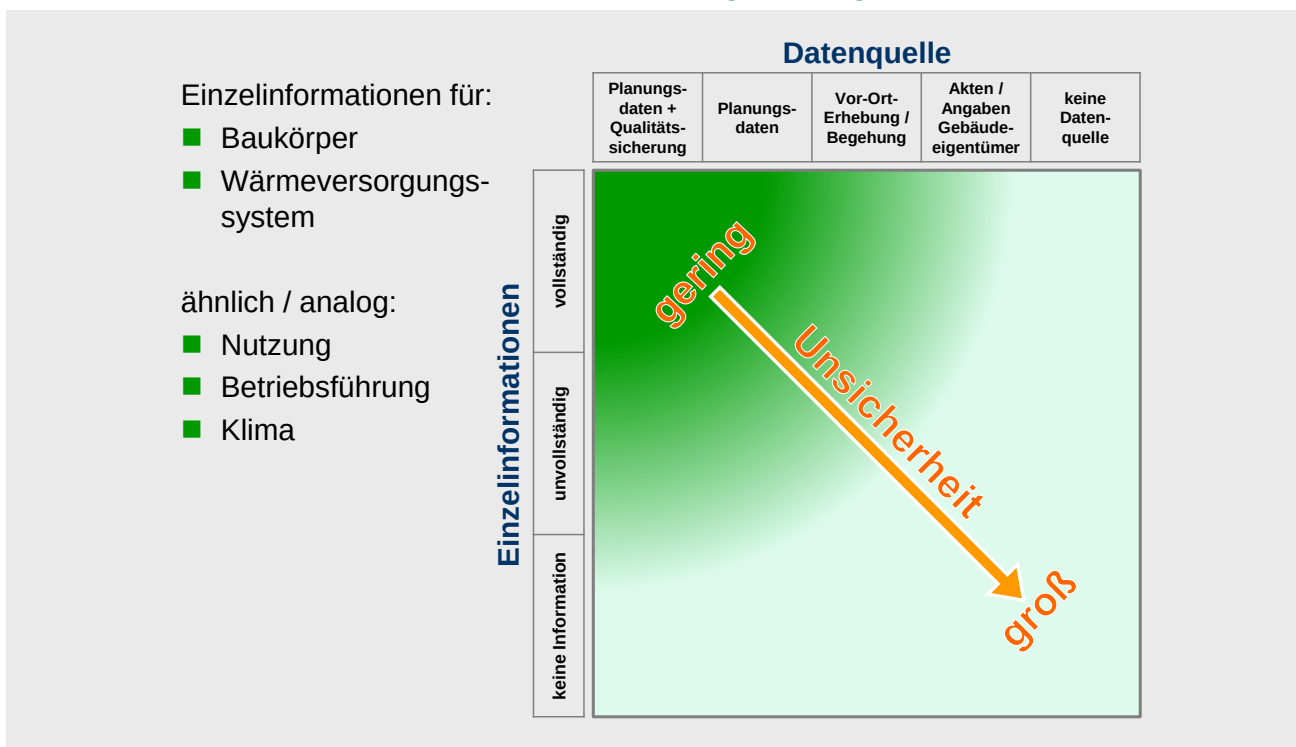
Wie oben beschrieben sollten für folgende Bereiche die Pauschalwerte und Unsicherheiten ermittelt oder verbessert und verifiziert werden:

- Bauteilanschlüsse / Wärmebrücken
- Undichtigkeit / Luftwechsel durch Infiltration
- Nutzungsdaten (insbesondere Luftwechsel infolge Öffnens von Fenstern in Gebäuden ohne Lüftungsanlage)
- Wärmeverluste von Wärmeversorgungssystemen (insbesondere Wärmeverteilsysteme)
- Reduktionsfaktor Erdreich
- Minderungsfaktor für vorgelagerte unbeheizte Bereiche (unbeheizte Dachräume und Kellerräume)

2.3 Bewertung der Datenqualität und Einstufung der Unsicherheit

Die Unsicherheit der Eingangsdaten der Energiebilanzberechnung wird zum einen beeinflusst durch die Zuverlässigkeit der Datenquelle für die vorliegenden Angaben, zum anderen aber auch durch die Vollständigkeit der Angaben (Bild 5).

Bild 5: Einflüsse auf die Unsicherheit der Modellierung von Energieströmen in einem Gebäude



Für die Art der Datenquelle werden verschiedene Kategorien gebildet, die je nach Eingabegröße etwas unterschiedlich aussehen können (siehe Einstellungen für die Datenerfassung Bild 6). Für Gebäude und Anlagentechnik wird zwischen der Umsetzung im Zuge einer Planung mit und ohne Qualitätssicherung und der Erfassung vor Ort oder aus Angaben des Gebäudeeigentümers unterschieden. Falls für bestimmte Daten generell keine Datenquellen vorliegen, kann dies auch festgehalten werden.

Für den Bereich des Wärmeschutzes können die Details der Zuordnung im späteren Abschnitt 3.2.2 in textlich beschriebener Form (Tab. 5) und im Anhang D.4 in Form von Rechenregeln nachvollzogen werden. In Tab. 6 finden sich die den Variablen und Unsicherheitsklassen zugeordneten Zahlenwerte für die Unsicherheit.

Bild 7 visualisiert den Algorithmus am Beispiel der Dämmstärke für ein Bauteil. Die Klasse „A“ mit der geringsten Unsicherheit ergibt sich, wenn die Dämmstärke als Angabe vorliegt und diese im Zuge einer Planung definiert wurde und dann auch qualitätsgesichert umgesetzt wurde (oberste Zelle in der ersten Spalte). Ohne qualitätsgesicherte Umsetzung wird die Unsicherheit in Klasse „B“ eingestuft. Eine Einstufung in Klasse „C“ wird vorgenommen, wenn die Dämmstärke vor Ort erhoben wird oder wenn es sich um die Angaben des Gebäudeeigentümers handelt. Gibt es keine Angaben für die Dämmstärke jedoch eine Information wann die Maßnahme umgesetzt wurde, so wird eine für die Umsetzungsperiode übliche Dämmstärke angesetzt und entsprechend die Unsicherheitsklasse auf „D“ gesetzt. Wird angegeben, dass eine nachträgliche Dämmung vorliegt, aber es ist weder die Dämmstärke noch der Umsetzungszeitraum bekannt, so wird die mittlere Dämmstärke aller deutscher Wohngebäude mit nachträglicher Dämmung des betreffenden Bauteils für die Berechnung verwendet und die Unsicherheitsklasse auf „E“ gesetzt.

Bild 6: Einstellungen für die Art der Datenquellen

Energieprofil		Fragebogen Datenquellen					
Gebäude Variante	DE.MOBASY.NH.0015.01 Ist-Zustand	Diese Angaben haben Auswirkungen auf die Abschätzung der Unsicherheit der Energiebilanzberechnung.					
Gebäudehülle		Planungsdaten + Qualitätssicherung	Planungsdaten (z.B. Energieausweis)	Vor-Ort-Erhebung (Begehung) oder Foto-Dokumentation	Akten / Angaben Gebäude-eigentümer	keine Datenquelle	keine Information über die Datenquelle
alternativ: gesamt oder einzeln							
☐ Gebäudehülle gesamt		☐	☐	☒	☐	☐	☐
☒ Einzelangaben Gebäudehülle							
Fläche der Hülle		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmedurchlässigkeit Gebäudehülle							
Dach / ob. Geschossdecke		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Außenwand		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fenster		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fußboden / Kellerdecke		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmebrücken		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmeversorgung							
System Heizung		☐	☐	☒	☐	☐	☐
ggf. inklusive Lüftungsanlage							
System Warmwasser		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Randbedingungen							
Nutzung und Betrieb des Gebäudes		objektbezogene Messdaten + Qualitätssicherung (z.B. wissenschaftliches Monitoring)	objektbezogene Messdaten	Erhebung / Klassifizierung Angaben Nutzer (Fragebogen)	keine Datenquelle	keine Angabe / keine Information über die Datenquelle	
Gebäudenutzung / übergeordnete Auswahl *		☐	☐	☐	☒	☐	
Raumtemperatur		☐	☐	☐	☒	☐	
Luftwechsel		☐	☐	☐	☒	☐	
effektive passiv-solare Apertur **		☐	☐	☐	☒	☐	
Interne Wärmequellen		☐	☐	☐	☒	☐	
Warmwasserzapfung (Eingangsdaten Energiebilanz)		☐	☐	☐	☒	☐	
*) Auswahl bei den Details nur wirksam wenn hier "nicht definiert" gewählt ist		Datenaufnahme vor Ort (Regelungseinstellungen, aktuelle Temperaturen)					
**) Fenstergröße und -orientierung, Verglasungsanteil, Verschattung, ...							
Betriebsführung		☐	☐	☐	☒	☐	
Klimadaten		☐	☒	☐	☐	☐	keine Angabe / Datenquelle wird über Einstellungen beim Klima festgelegt
Energieverbrauch		detaillierte Messdaten Gebäude	Daten aus der Abrechnung	Angaben Nutzer (Fragebogen)	keine Datenquelle zum Verbrauch	keine Information über die Herkunft der Angaben	
Gemessener Energieverbrauch für Heizung (und ggf. Warmwasser)							
Angaben zum Verbrauch		☐	☒	☐	☐	☐	
Wärme-/Energiesmessung Heizung			☐	☒	☐	☐	
			Zähler direkt im Gebäude (oder Brennstoff-Lieferung nur für das Gebäude)	Zähler für mehrere Gebäude (z.B. in Heizzentrale) und grobe Zuordnung zum Gebäude*			

*) z.B. Zuordnung eines Anteils des gesamten Energieverbrauchs der Heizzentrale über Heizkostenverteiler

Bild 7: Beispiele für die Einstufung der Unsicherheit im Fall des Rechenwertes für die Dämmstärke eines Bauteils (so angewendet für Dach, oberste Geschossdecke, Außenwand und Fußboden) Unsicherheitsklassen A, B, C, D, E in Abhängigkeit von der Einstufung der Art der Datenquelle und der Vollständigkeit der relevanten Variablen (Dämmstärke und Jahr der Dämmung) (siehe Rechenregel RR 30 im Anhang D.4.2)

Erfassungsgrößen (Monitoring-Indikatoren)		erfasste Daten			
		Dämmstärke bekannt	Dämmstärke unbekannt, Jahr der Dämmung bekannt	Dämmstärke und Jahr der Dämmung unbekannt	keine nachträgliche Dämmung vorhanden
Dämmstärke [cm]	d_Insulation	>0	#N/A	#N/A	0
Jahr der Dämmung	Year_Refurbishment	*	>0	#N/A	*
		resultierende Unsicherheitsklasse			
Einstufung der Datenqualität	Code_TypeDataSources	Code_Uncertainty_d_Insulation			
Planungsdaten + Qualitätssicherung	DesignDataPlusQA	A	D	E	-
Planungsdaten (z.B. Energieausweis)	DesignData	B	D	E	-
Vor-Ort-Erhebung (Begehung)	InspectionOnSite	C	D	E	-
Akten / Angaben Gebäudeeigentümer	RecordsStatement Owner	C	D	E	-
keine Datenquelle	NoDataSource	E	E	E	-
keine Information über die Datenquelle	_NA_	E	E	E	-
für die Dämmstärke verwendeter Wert		angegebene Dämmstärke	mittlere Dämmstärke Gebäudebestand für nachträgliche Dämmung im angegebenen Zeitraum der Modernisierung	mittlere Dämmstärke Gebäudebestand für nachträgliche Dämmung	0

2.4 Verbrauchsdaten

Bild 8 zeigt den Erfassungsbogen für den Energieverbrauch. Für beliebige Zeiträume können Messgrößen unterschiedlicher Art eingetragen werden. Bei dem hier dargestellten Beispiel stammen die Zahlenwerte aus der Datenbank für die Heizkostenabrechnung.⁷ In der ersten Spalte ist der abgerechnete Brennstoffverbrauch für Heizung und Warmwasser eingetragen, in der zweiten Spalte die mit einem Wärmemengenzähler gemessene und abgerechnete Wärmemenge für Warmwasser, in der dritten Spalte das gezapfte Warmwasservolumen (Summe aller Warmwasservolumenzähler in den Wohnungen)

Die Angabe der Art der Messgröße und die Zuordnung zur Art der Nutzung erfolgt je Verbrauchsspalte (Messstellen M1, M2, M3) jeweils über Optionsfelder. Bei dem Beispiel handelt es sich um den häufigen Fall, dass bei der Heizkostenabrechnung von dem gesamten Brennstoffverbrauch der per Wärmemengenzähler gemessene Wärmeverbrauch für Warmwasser abgezogen wird. Entsprechend erfolgt wie in Bild 9 dargestellt eine Zuordnung zu den Auswerte-Profilen des Verbrauchscontrollings „H+W“ (Heizung und Warmwasser), „H“ (nur Heizung), „W“ (Wärme Warmwasser) und „VolW“ (Volumen Warmwasser). Bild 10 zeigt die für das Beispielgebäude erfolgte Zuordnung von gemessenen Verbrauchswerten und Bedarf-Vergleichswerten.⁸

Da der mit der Realbilanzierung ermittelte „Vergleichswert Bedarf“ auf das jeweilige Jahresklima kalibriert wird (siehe Abschnitt 2.6), ist eine „Klimabereinigung“ der Verbrauchswerte für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich nicht erforderlich. Die ausgegebenen Verbrauchsbenchmarks beziehen sich also zunächst auf ein bestimmtes Jahr. Da die Klimadaten der Verbrauchsjahre bekannt sind, ist jedoch eine Klimabereinigung in einem zweiten Schritt leicht möglich.⁹

Das Verbrauchscontrolling in MOBASY zielt primär auf Verbrauchsdaten aus der jährlichen Heizkosten- bzw. Energiekostenabrechnung ab. Es können jedoch auch Monatswerte oder unregelmäßige Brennstoff-Liefermengen angegeben werden. Der Auswertezeitraum kann auf ein oder mehrere Jahre (maximal 4) ab einem frei wählbaren Startmonat festgelegt werden (Bild 9). Fallen der Beginn- und End-Punkt des Auswertezeitraums nicht mit den Messzeitpunkten zusammen, so wird eine vordefinierte Monatsverteilung für die Zuordnung zu Grunde gelegt. Diese besteht für die Heizung aus einer Zuordnung entsprechend den Gradtagen (Standardklima), für Warmwasser aus einer Verteilung entsprechend den Tagen im Monat. Für Verbrauchswerte für Heizung und Warmwasser wird ein vordefinierter Teil dem Warmwasser zugeordnet.

⁷ Die Übertragung aus dem Export der Abrechnungsdatenbank erfolgte im Forschungsvorhaben direkt in die Gebäudetabelle. Bei dem hier dargestellten Erfassungsbogen des Excel-Tools „EnergyProfile.xlsm“ als allgemeines Anwendungsschema werden die Daten aus der Gebäudetabelle geladen.

⁸ Es sei hier angemerkt, dass bei dieser Art der Aufteilung vermutlich der Verbrauch für Heizung systematisch zu hoch erscheint, da die Kesselverluste für die Warmwasserbereitung damit der Heizung zugeordnet werden. Dies ließe sich zwar im Prinzip durch eine Zuordnung der Warmwasser-Erzeugerwärmeverluste beim Vergleichs-Bedarfswert „H“ korrigieren, jedoch ist dies im Excel-Tool bisher noch nicht umgesetzt (siehe „Aufgaben für die Weiterentwicklung“).

⁹ Je Vergleichszeitraum wird das Verhältnis der Gradtagzahlen und der Globalstrahlung an Heiztagen in der Gebäudetabelle mit ausgegeben. Für die Methode der Klimabereinigung des Verbrauchs bestehen dann verschiedene Möglichkeiten, beispielsweise: (1) Korrektur nur mit dem Verhältnis der Gradtagzahlen, bei enthaltener Warmwasserbereitung vorher Abzug eines Pauschalwerts; (2) Korrektur mit den Verhältnissen der Gradtagzahlen und der Globalstrahlung unter Zuhilfenahme der jeweiligen Bilanz-Anteile aus der Realbilanz-Berechnung (mit diesem Ansatz könnten auch die Warmwasserzapfmengen auf Standardwerte bereinigt werden).

Bild 8: Erfassungsbogen Energieverbrauch¹⁰

Energieprofil					Fragebogen Messwerte Verbrauch											
Gebäude		DE.MOBASY.NH.0015.01			beheizte Wohnfläche		1536 m ²									
Verbrauchsangabe n für Fläche		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Messstelle</th> </tr> <tr> <th>M1</th> <th>M2</th> <th>M3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1472</td> <td>1536</td> <td>1536</td> </tr> </tbody> </table>			Messstelle			M1	M2	M3	1472	1536	1536	m ²		
Messstelle																
M1	M2	M3														
1472	1536	1536														
von		bis			M1		M2			M3						
1		31.12.2015	0	0	0											
2	01.01.2016	31.12.2016	193202	58629	720,137											
3	01.01.2017	31.12.2017	191770	56876	538,267											
4	01.01.2018	31.12.2018	0	0	0											
5	01.01.2019	31.12.2019	0	0	0											
6	01.01.2020	31.12.2020	0	0	0											
7	01.01.2021	#NV	0	0	0											
8		#NV	0	0	0											
9		#NV	0	0	0											
10		#NV	0	0	0											
11		#NV	0	0	0											
12		#NV	0	0	0											
13		#NV	0	0	0											
14		#NV	0	0	0											
15		#NV	0	0	0											
16		#NV	0	0	0											
17		#NV	0	0	0											
18		#NV	0	0	0											
19		#NV	0	0	0											
20		#NV	0	0	0											
21		#NV	0	0	0											
22		#NV	0	0	0											
23		#NV	0	0	0											
24		#NV	0	0	0											
25		#NV	0	0	0											
26		#NV	0	0	0											
27		#NV	0	0	0											
28		#NV	0	0	0											
29		#NV	0	0	0											
30		#NV	0	0	0											
31		#NV	0	0	0											
32		#NV	0	0	0											
33		#NV	0	0	0											
34		#NV	0	0	0											
35		#NV	0	0	0											
36		#NV	0	0	0											
37		#NV	0	0	0											
38		#NV	0	0	0											
39		#NV	0	0	0											
40		#NV	0	0	0											

Gemessene Größe		Messstelle		
		M1	M2	M3
Heizöl		☐	☐	☐
Erdgas		☒	☐	☐
Flüssiggas		☐	☐	☐
Holzpellets		☐	☐	☐
Scheitholz		☐	☐	☐
Kohle		☐	☐	☐
Strom		☐	☐	☐
Strom-Sondertarif		☐	☐	☐
Wärmemenge		☐	☒	☐
Warmwasser-Volumen		☐	☐	☒
andere:		☐	☐	☐
nicht belegt		☐	☐	☐

Angaben in:		M1	M2	M3
kWh*		☒	☒	☐
MWh*		☐	☐	☐
Liter (Abk. "l")		☐	☐	☐
m ³ , cbm (Kubikmeter)		☐	☐	☒
kg		☐	☐	☐
Tonnen		☐	☐	☐
Raummeter, Ster [1]		☐	☐	☐
Schüttkubikmeter [2]		☐	☐	☐
Festmeter		☐	☐	☐
andere:		☐	☐	☐

*) Bei Angaben in kWh oder MWh (nur Brennstoffe):
 Bezug auf
 oberer Heizwert [3] ☒ ☐ ☐
 unterer Heizwert ☐ ☐ ☐
 unbekannt ☐ ☐ ☐
 nicht anwendbar ☐ ☐ ☒

Verwendung für:		M1	M2	M3
Heizung		☒	☐	☐
Warmwasser		☒	☒	☒
Kühlung / Klimatisierung		☐	☐	☐
Lüftungsanlage (Strom)		☐	☐	☐
Pumpen, Regelung, etc.		☐	☐	☐
Haushaltsstrom		☐	☐	☐
Kochen		☐	☐	☐
andere		☐	☐	☐

Angaben zu Teilmessungen		M1	M2	M3
In M1 ist enthalten:		☐	☒	☒
In M2 ist enthalten:		☐	☐	☒

Angaben zur Vollständigkeit		ja	nein	unbe- kannt	k.A.
Der Energiebezug für die Gebäudebeheizung ist damit vollständig.		☒	☐	☐	☐
Der Energiebezug für die Warmwasserbereitung - sofern in den Verbrauchsangaben enthalten - ist vollständig. Die Messwerte gelten für die genannte Fläche. Andere Flächen werden nicht versorgt.		☒	☐	☐	☐

Besonderheiten		M1	M2	M3
Messung in den Wohnungen (ohne Verteilverluste im ganzen Haus, bei MFH)		☐	☐	☒
Messung in separater Heizzentrale (inkl. Verteilverluste Erdreich)		☐	☐	☐

Erläuterungen	
[1] Raummeter, Ster: Stapelvolumen in m ³	
[2] Schüttkubikmeter: Schüttvolumen in m ³	
[3] oberer Heizwert = Brennwert	

2021-01-28 22:35

¹⁰ Die m²-Angaben „Verbrauchsangabe für Fläche“ kommen direkt aus der Abrechnungsdatenbank und sind nur informativ. Im Beispiel ist der häufige Fall wiedergegeben, dass die für die Fixkosten-Umlage bei der Heizung verwendete Gesamtfläche (Räume mit Heizkörpern) kleiner ist als die beim Warmwasser verwendete Fläche (gesamte Wohnfläche).

Bild 9: Auswerteprofile für den Verbrauch (Einstellungen für das Berechnungsbeispiel)

Vergleich Berechnung mit Messung (Einstellungen zugeordnet zur gewählten Variante)									
Vergleichszeitraum	Versionen des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Startjahr	2017	2017	2017	2017	2016	2016	2016	2016	0
Startmonat	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Anzahl Jahre	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Startdatum	01.01.2017	01.01.2017	01.01.2017	01.01.2017	01.01.2016	01.01.2016	01.01.2016	01.01.2016	#NV
Enddatum	31.12.2017	31.12.2017	31.12.2017	31.12.2017	31.12.2016	31.12.2016	31.12.2016	31.12.2016	#NV
Check: Messwerte vorhanden	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	#NV

informativ, keine Auswirkung auf Messstellen-Auswahl, dient nur der Kategorisierung und Plausibilisierung

Art des Vergleichs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Heizung	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	"H"
Heizung + Warmwasser	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	"H+W"
Warmwasser (Wärmemenge)	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	"W"
Warmwasser-Volumen	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	"VolW"
anderer Vergleich	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	"Other"
nicht definiert	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	"_NA_"
	H+W	H	W	VolW	H+W	H	W	VolW	_NA_	

Berücksichtigung der Messstellen im Vergleich									
Messstelle	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Messstelle M1	+	+	0	0	+	+	0	0	0
Messstelle M2	0	-	+	0	0	-	+	0	0
Messstelle M3	0	0	0	+	0	0	0	+	0

Erläuterungen

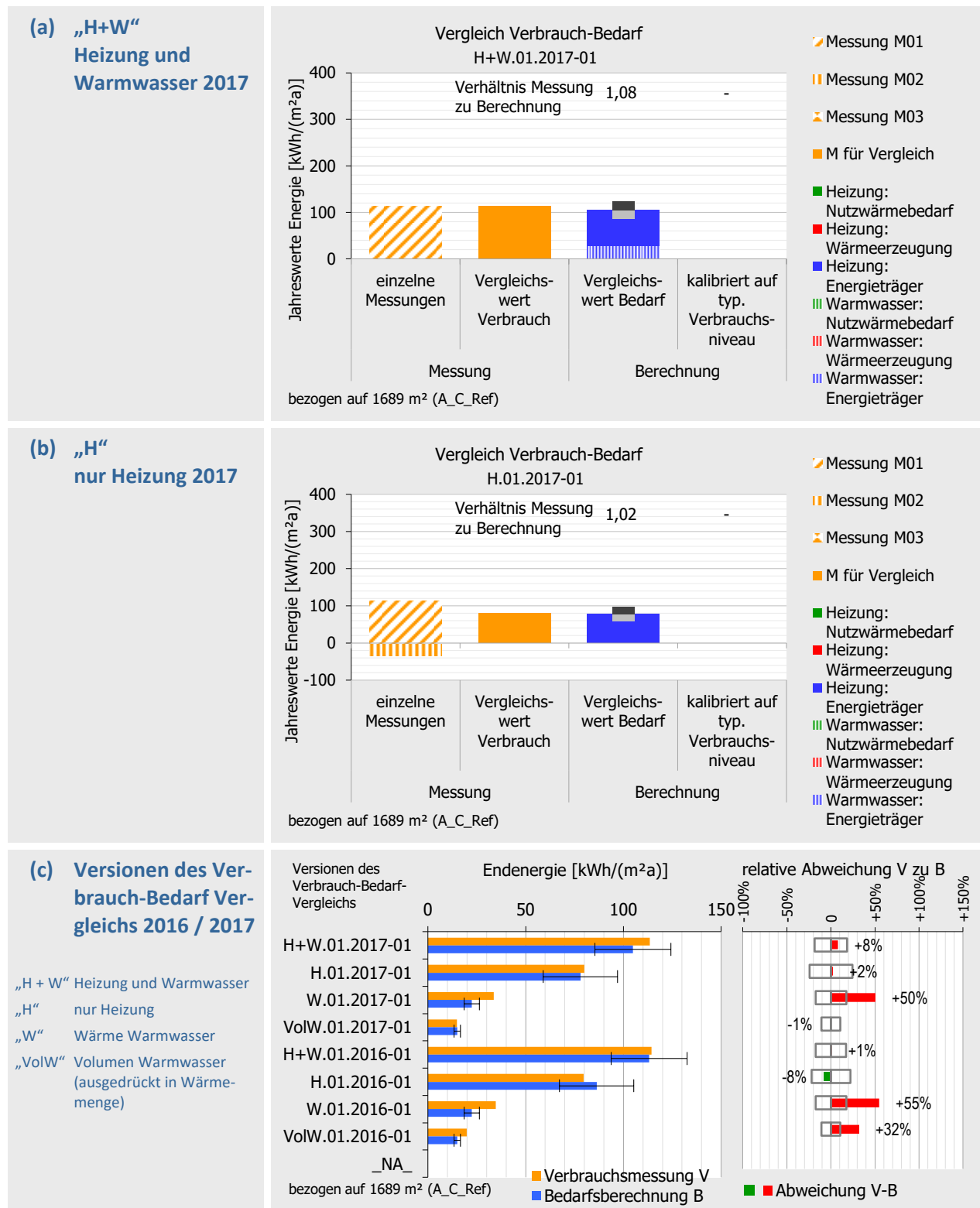
- Vergleichszeitraum:** Auswahl von einem oder mehreren Jahren mit Beginn ab einem auswählbaren Monat (Auswahl hat Auswirkung auf die für die Bilanzierung verwendeten Klimadaten (sofern Verwendung des Realklimas des Verbrauchszeitraums für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich ausgewählt).
- Art des Vergleichs:** rein informative Angabe zur schnellen Identifizierung der Version des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs; die Zuordnung von Heizung und Warmwasser für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich erfolgt automatisch über die ausgewählten Messstellen M1 bis M3 (siehe unten) und deren Charakterisierung (Nutzung für Heizung, Warmwasser usw., siehe Bild 8)
- Berücksichtigung der Messstellen im Vergleich:** Festlegung welche der Messstellen M1, M2 und M3 für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich verwendet wird; die Beiträge werden addiert oder subtrahiert („+“ = positiver Betrag der Messung; „-“ = negativer Betrag; „0“ = keine Berücksichtigung). Bei dem Beispiel liegt der Erdgasverbrauch für Heizung und Warmwasser in M1 und die Wärmemenge für Warmwasser in M2 vor (Bild 8). Der Vergleich „H+W“ hat dann lediglich ein „+“ bei Messstelle M1 (Version 1 des V-B-Vergleichs), ansonsten „0“ (Spalte ganz links). Soll der V-B-Vergleich nur für Heizung vorgenommen werden, so muss von dem Erdgasverbrauch die Wärmemenge Warmwasser abgezogen werden – entsprechend steht bei dem Vergleich „H“ (zweite Spalte) ein „+“ bei M1 (Erdgas-Messung) und ein „-“ bei M2 (Wärmemengenzähler Warmwasser).

Aufgaben für die Weiterentwicklung

- Im Erfassungsbogen Verbrauch sollten je Messstelle direkt eine Abfrage mit aufgenommen werden, um was es sich bei dem eingetragenen Verbrauchswerten handelt:
 - (1) direkt mit einem Zähler gemessen (oder Differenzbildung zwischen zwei Zählern);
 - (2) mit übergeordnetem Zähler direkt gemessen und auf dieses und andere Gebäude aufgeteilt;
 - (3) mit einer anderen Zähleinrichtung gemessen und (per Schätzformel) berechnet;
 - (4) Summe aller Wohnungszähler;
 - (5) unbekannt / nicht anwendbar.
 Option (2) kommt dann insbesondere zum Zuge, wenn Heizkostenverteiler die Grundlage für die Aufteilung des Heizenergieverbrauchs auf mehrere Gebäude sind. In diesem Fall müsste in Zukunft der Verbrauchsmessung eine höhere Unsicherheit zugeordnet werden. Option (3) gilt, falls die Wärmemenge für die Warmwasserbereitung per Formel aus dem gemessenen Warmwasservolumen ermittelt und abgerechnet wurde. Derzeit gehen im Fall (3) die abgerechneten Wärmemengen Warmwasser nicht in die Verbrauchsauswertung ein (manuell entfernte Auswerteoption).
- Die bei der Abrechnung übliche Ermittlung des Brennstoffverbrauchs für Heizung durch Abzug der Wärmemenge Warmwasser bringt einen systematischen Fehler mit sich (Kesselverluste für die Warmwasserbereitung werden der Heizung zugeordnet). Hierzu müsste noch ein Algorithmus umgesetzt werden, der in diesem Fall dem Vergleich-Bedarfswerts „H“ die Warmwasser-Erzeugerwärmeverluste auch zuordnet.

Bild 10: Darstellung der Zuordnung von Verbrauch und Bedarf für das Beispielgebäude

Die als Spalten dargestellten Unsicherheiten der Berechnung werden im folgenden Abschnitt 2.5, die Kalibrierungsregeln für die Vergleich-Bedarfswerte in Abschnitt 2.6 und die relativen Abweichungen als Maß für die Auffälligkeit in Abschnitt 2.7 erläutert. (Die Säulen „kalibriert auf typ. Verbrauchsniveau“ sind hier nicht belegt, da die Kalibrierung bei der Realbilanzierung derzeit nicht angewendet wird.)



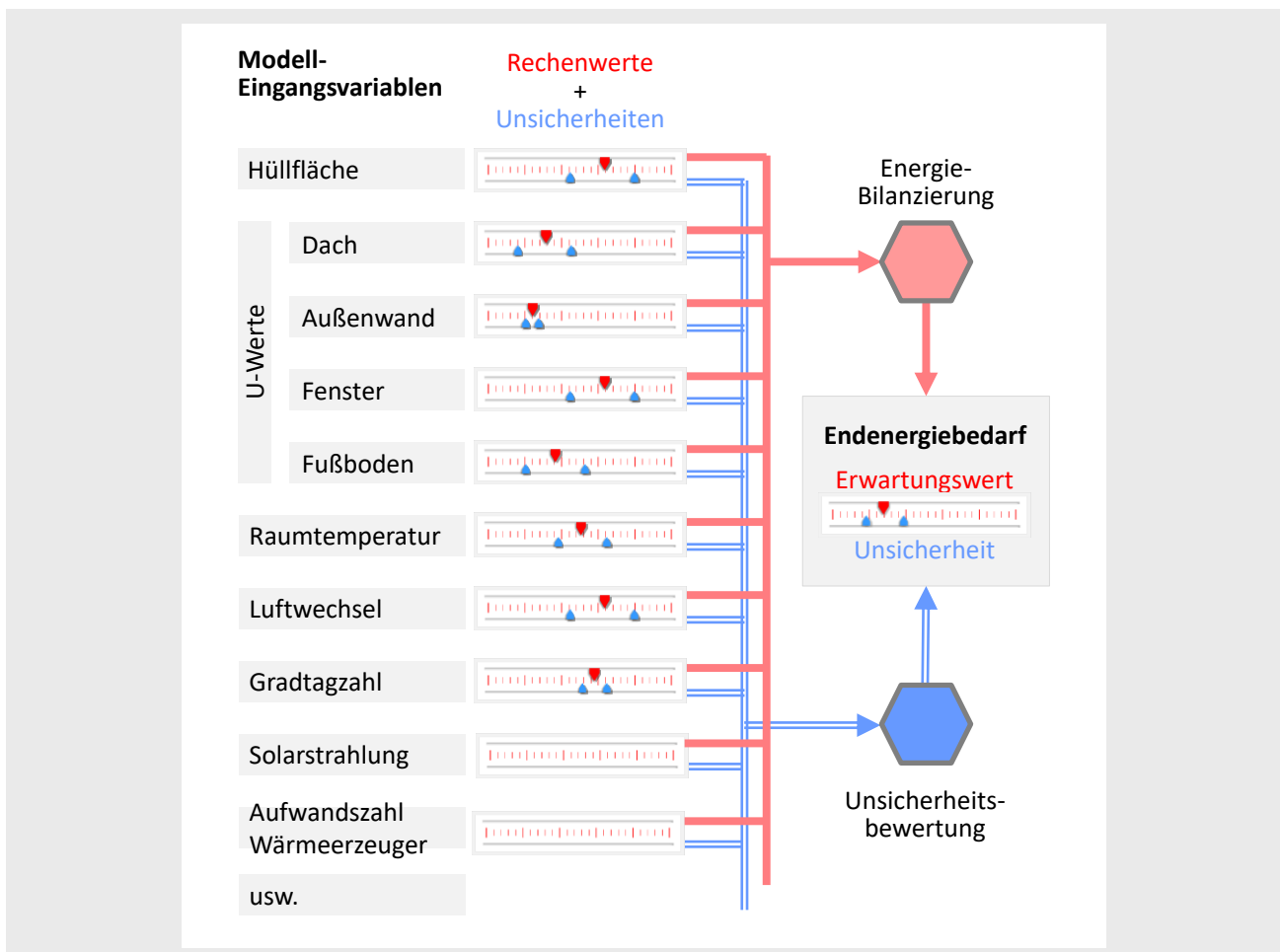
2.5 Bedarfsberechnung / Realbilanzierung mit Unsicherheitsabschätzung

Bei der hier entwickelten Realbilanzierung wird allen wesentlichen Modell-Eingangsvariablen ein Rechenwert und eine Unsicherheit zugeordnet. In Abschnitt 2.2 wurden die verschiedenen Quellen für die Zahlenwerte der unterschiedlichen Bilanzanteile für in diesem Bericht vorgestellte Analysen bereits benannt. Nach Möglichkeit wurde dabei auf empirische Daten zurückgegriffen, die in Form von Mittelwerten und Standardabweichungen für die betreffenden Eingangsgrößen aufbereitet wurden. An einigen Stellen wurden jedoch zunächst nur grobe Expertenschätzungen auf der Basis von Erfahrungswerten vorgenommen: Als Rechenwert wird dann ein typischer (häufig vorkommender) Wert, als Unsicherheit die Hälfte der üblichen Variationsbreite verwendet. Als übliche Variationsbreite wird bei der Expertenschätzung der Bereich zwischen einem gerade noch nicht auffällig hohen und einem gerade noch nicht auffällig niedrigem Wert angesetzt.

Die Ermittlung des Energiebedarfs und der Unsicherheit des Energiebedarfs erfolgt in zwei separaten Schritten (Bild 11). Als Eingangsdaten für die energetische Bilanzierung dienen die den erfassten Zustand repräsentierenden Rechenwerte – fehlen Informationen zum Zustand werden für die vorliegende Konfiguration typische Werte verwendet. Der mit dem Bilanzmodell ermittelte Energiebedarf auf der Ebene Nutzwärme und Endenergie spiegelt dann einen typischen (bzw. den wahrscheinlichsten) Fall wieder, den „Erwartungswert des Energiebedarfs“.

Bild 11: Grundkonzept der hier vorgestellten Realbilanzierung für ein Gebäude

Auf Basis der (empirisch ermittelten, notfalls geschätzten) mittleren Zustände innerhalb der jeweils in Frage kommenden Spannen wird die Energiebilanz berechnet. Parallel wird die Wirkung der möglichen Spannen bzw. Unsicherheiten auf die Unsicherheit des Energiebedarfs abgeschätzt.



Als davon unabhängige Berechnung wird die Auswirkung der Unsicherheiten der Eingangsvariablen auf das Ergebnis abgeschätzt. Zu diesem Zweck wird zunächst für jede mit einer Unsicherheit behaftete Modell-Eingangsvariable die Auswirkung der jeweiligen Unsicherheit auf den Energiebedarf einzeln abgeschätzt. Hierzu wird die Unsicherheit der Eingangsgröße mit einem Faktor multipliziert, der die Sensitivität des Energiebedarfs bezüglich einer Änderung der betreffenden Eingangsgröße wiedergibt (also die Ableitung des Energiebedarfs nach der Variablen).

Die aus der Unsicherheit des U-Wertes einer Konstruktion resultierende Unsicherheit des Heizwärmebedarfs ist:

$$(1) \quad \Delta Q_{h,nd}(\Delta U_{eff,i}) \approx \frac{dQ_{h,nd}}{dU_{eff,i}} \cdot \Delta U_{eff,i} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit	$\frac{dQ_{h,nd}}{dU_{eff,i}}$	Ableitung des Heizwärmebedarfs $Q_{h,nd}$ nach dem U-Wert $U_{eff,i}$ des Bauteils i („Sensitivität des Heizwärmebedarfs bezüglich Änderung eines U-Wertes“)	$[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$
	$\Delta U_{eff,i}$	Unsicherheit des U-Wertes $U_{eff,i}$ des Bauteils i	$[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$
	$\Delta Q_{h,nd}(\Delta U_{eff,i})$	resultierende Unsicherheit des Heizwärmebedarfs $Q_{h,nd}$	$[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$

Gemäß dem TABULA Rechenverfahren [TABULA Calc Method 2013] setzt sich der Heizwärmebedarf $Q_{H,nd}$ aus den Wärmeverlusten und den nutzbaren Wärmegewinnen in der Heizzeit zusammen:

$$(2) \quad Q_{H,nd} = Q_{ht,tr} + Q_{ht,ve} - \eta_{h,gn} \cdot (Q_{sol} + Q_{int}) \quad [\text{kWh}/\text{a}]$$

mit	$Q_{H,nd}$	Heizwärmebedarf (Nutzenergiebedarf Raumheizung) (<i>nd</i> = <u>heat need</u>)	$[\text{kWh}/\text{a}]$
	$Q_{ht,tr}$	Transmissionswärmeverluste in der Heizzeit (<i>ht,tr</i> = <u>heat transfer by transmission</u>)	$[\text{kWh}/\text{a}]$
	$Q_{ht,ve}$	Lüftungswärmeverluste in der Heizzeit (<i>ht,ve</i> = <u>heat transfer by ventilation</u>)	$[\text{kWh}/\text{a}]$
	Q_{sol}	solare Wärmezufuhr in der Heizzeit	$[\text{kWh}/\text{a}]$
	Q_{int}	Wärmezufuhr aus internen Wärmequellen in der Heizzeit	$[\text{kWh}/\text{a}]$
	$\eta_{h,gn}$	Ausnutzungsgrad Wärmezufuhr in der Heizzeit (<i>h,gn</i> = <u>heat gain for heating</u>)	$[-]$

Für kleine Änderungen eines einzelnen U-Wertes ändert sich der Ausnutzungsgrad für die Wärmezufuhr in der Heizzeit $\eta_{h,gn}$ nur sehr wenig und kann vereinfachend konstant gesetzt werden. In der Folge ist bei den Summanden in Gl. (2) der einzige von den U-Werten abhängige Term der jährliche Transmissionswärmeverlust $Q_{ht,tr}$. Die Ableitung des Heizwärmebedarfs nach dem betreffenden U-Wert entspricht der Ableitung des Transmissionswärmeverlusts.

Mit dem Transmissionswärmeverlust

$$(3) \quad Q_{ht,tr} = 0.024 \frac{kh}{d} \cdot \sum_i (b_{tr,i} \cdot A_{env,i} \cdot U_{eff,i}) \cdot F_{nu} \cdot (\vartheta_{int} - \vartheta_{e,hs}) \cdot d_{hs} \quad [\text{kWh/a}]$$

$b_{tr,i}$	Reduktionsfaktor Erdreich des Bauteils i	[-]
$A_{env,i}$	Außenfläche des Bauteils i (<i>env</i> = building <u>en</u> velope)	[m ²]
$\vartheta_{e,hs}$	mittlere Außentemperatur in der Heizzeit Außenlufttemperatur in der Nähe des Gebäudes, gemittelt über die Heizzeit (<i>e</i> = <u>e</u> xternal / <i>hs</i> = <u>h</u> eating <u>s</u> ea <u>s</u> on)	[°C]
ϑ_{int}	mittlere Heiztemperatur mittlere Raumtemperatur an Heiztagen tagsüber (Zeiten ohne Nachtabenkung) in Räumen, die direkt beheizt werden	[°C]
F_{nu}	Korrekturfaktor nicht-gleichförmige Beheizung Faktor zur Berücksichtigung zeitlicher und räumlicher Teilbeheizung (<i>nu</i> = <u>n</u> on- <u>u</u> niform <u>h</u> eating)	[-]
d_{hs}	Länge der Heizzeit / Heiztage Anzahl der Tage, an denen die mittlere Außenlufttemperatur unterhalb der Heizgrenztemperatur liegt (<i>hs</i> = <u>h</u> eating <u>s</u> ea <u>s</u> on)	[d/a]

ist dann die Unsicherheit des Heizwärmebedarfs bezogen auf die Unsicherheit des U-Wertes $U_{eff,i}$ des Bauteils i :

$$(4) \quad \Delta Q_{h,nd}(\Delta U_{eff,i}) \approx \frac{dQ_{ht,tr,i}}{dU_{eff,i}} \cdot \Delta U_{eff,i} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

$$= b_{tr,i} \cdot A_{env,i} \cdot F_{nu} \cdot (\vartheta_{int} - \vartheta_{e,hs}) \cdot d_{hs} \cdot \Delta U_{eff,i}$$

Im Rechenschema werden die Transmissionswärmeverluste je Bauteil und die U-Werte je Bauteil separat ausgegeben. Die Sensitivität gemäß Gl. (1) ist auf Grund des linearen Zusammenhangs in Gl. (4) einfach der Quotient aus beiden Werten:

$$(5) \quad \frac{dQ_{h,nd}}{dU_{eff,i}} \approx \frac{dQ_{ht,tr,i}}{dU_{eff,i}} = \frac{Q_{ht,tr,i}}{U_{eff,i}} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

In dem Rechenschema mit der Beispielberechnung in Bild 23 im Abschnitt 4.3 stehen die entsprechenden Zahlenwerte je Bauteil in der Spalte mit der Bezeichnung „Sensitivity of heat flow to change of quantity“.

Analog zu den U-Werten wird die Auswirkung der Unsicherheit jeder Eingangsvariablen auf den Energiebedarf einzeln ermittelt. Unter der Annahme, dass die Unsicherheiten der Eingangsvariablen zufällig sind und nicht miteinander korrelieren kann die Gesamtunsicherheit des Energiebedarfs als Wurzel aus der Summe der Quadrate der Einzelunsicherheiten des Bedarfs ermittelt werden:

$$(6) \quad \Delta Q_{h,nd}(\Delta x_i) \approx \sqrt{\sum_i \left(\frac{dQ_{h,nd}(x_i)}{dx_i} \cdot \Delta x_i \right)^2} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit $\Delta Q_{h,nd}(\Delta x_i)$	Gesamt-Unsicherheit des Heizwärmebedarfs für den bilanzierten Gebäudezustand verursacht durch die jeweiligen Unsicherheiten aller Eingangsgrößen Δx_i	[kWh/(m²a)]
$\frac{dQ_{h,nd}(x_i)}{dx_i}$	Sensitivität des Heizwärmebedarfs bezüglich einer Änderung der Eingangsgröße x_i (Ableitung) für den bilanzierten Gebäudezustand	[*]
Δx_i	Unsicherheit der Bilanz-Eingangsgröße x_i	[*]

*) Einheit abhängig von der Bilanz-Eingangsgröße x_i

Bild 23 im Abschnitt 4.3 zeigt den vollständigen Rechengang für die Ermittlung der Unsicherheit am Beispiel eines Gebäudes aus der Stichprobe.¹¹

Liegen für eine Eingangsgröße empirische Daten aus einer Zufallsstichprobe im Bestand vor oder gar eine Vollerfassung (z.B. Dicke der Außenwand-Dämmung für alle modernisierten Gebäude), so wird als Rechenwert der Mittelwert und als Unsicherheit die Standardabweichung der Verteilung verwendet. Die Position des Mittelwerts ist selbst mit einer Unsicherheit behaftet, die von der Anzahl der ausgewerteten Fälle abhängt. Sofern es sich um eine große Stichprobe handelt, ist dieser „Standardfehler“ von keiner großen Bedeutung für die Bilanzierung. Für einige Variablen gibt es jedoch keine statistisch zuverlässigen Daten, teilweise liegen nur Expertenschätzungen auf der Basis von wenigen Fällen oder von theoretischen Betrachtungen vor oder auch die Erfahrung aus der Energieberatung, mit welchen Ansätzen man den gemessenen Verbrauch typischerweise gut abbildet. Die Unsicherheit, ob diese Rechenwerte die Realität im Mittel abbilden, ist hier natürlich viel größer und kann auch leider nicht quantifiziert werden. Aufgrund der gegebenen Unsicherheit der Mittelwerte einiger Eingangsgrößen ist es durchaus wahrscheinlich, dass das physikalische Modell Energiebedarfswerte liefert, die einen systematischen Fehler haben, das heißt systematisch höher oder niedriger liegen als der tatsächliche Verbrauch.

Um den Energieverbrauch zuverlässig schätzen zu können, müssen die Realbilanz-Energiebedarfswerte also an Hand des Energieverbrauchs validiert und gegebenenfalls kalibriert werden. Hierzu wird eine größere Stichprobe an Gebäuden benötigt, für die jeweils Realbilanz-Energiebedarfswerte und Verbrauchswerte vorliegen. Eine einfache Art der Prüfung ist, die Gesamtheit in Energiebedarfsklassen einzuteilen und für jede Klasse den Mittelwert des Verbrauchs mit dem Mittelwert des Bedarfs zu vergleichen. Werden größere Abweichungen festgestellt, muss das Ergebnis des physikalischen Modells auf das typische Verbrauchsniveau kalibriert werden. Hierzu können Faktoren je Klasse (linear interpoliert, siehe [TABULA Calc Method 2013])

¹¹ Das verwendete Demo-Blatt „Calc.Demo.Uncertainty“ ist Teil des Rechenkerns „tabula-calculator.xlsx“ des EnergyProfile-Werkzeugs. Dort findet sich im Blatt „Calc.Set.Unc“ auch eine zeilenweisen Darstellung in Form einer Rechentabelle. Wie die anderen tabellarischen Rechenblätter in „tabula-calculator.xlsx“ ist dieses Blatt auch separat (abgekoppelt von „EnergyProfile.xlsm“, händisches Eintragen von Eingangswerten) für zeilenweise Berechnung von Gebäudedatensätzen nutzbar.

oder Funktionen durch lineare Regression der logarithmierten Energiekennwerte [Hörner et al. 2016] [Loga et al. 2019] ermittelt werden. Eine andere Methode besteht darin, die Eingangsgrößen, deren Mittelwerte sehr unsicher sind, innerhalb des möglichen Bereichs so anzupassen, dass die Differenz zwischen Verbrauch und Bedarf minimiert wird.¹²

Obwohl für die MOBASY-Gebäudesammlung bereits der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Realbilanz-Energiebedarf ermittelt werden konnte (Abschnitt 5.4) ist noch keines der genannten Verfahren angewendet worden, da zunächst die Daten der Gebäude mit auffälligen Verbrauchswerten geprüft werden müssen (siehe Abschnitt 5.2). Bevor eine Kalibrierung der Realbilanz auf den Verbrauch vorgenommen wird, ist auch die Frage zu klären, welche Anzahl von Datensätzen hierfür mindestens verfügbar sein sollen.

Aufgaben für die Weiterentwicklung

- Damit die Realbilanzierung als universelles Prognoseinstrument für den Energiebedarf von Wohngebäuden verwendet werden kann, wird eine größere Gebäuestichprobe mit Daten zum Zustand und zum Energieverbrauch über das ganze Spektrum der Eingangsvariablen und Verbrauchswerte für Neubau und Bestand benötigt. Die MOBASY-Gebäuestichprobe (siehe Abschnitt 5) sollte zu diesem Zweck insbesondere um unsanierte Geschosswohnbauten erweitert werden. Auch eine Ausdehnung auf Einfamilien- und Reihenhäuser im Rahmen von Anschlussprojekten wäre wünschenswert.
- Wie im Text dargestellt wurde, handelt es sich hier um ein Berechnungsschema, das auf verschiedenen Vereinfachungen basiert. Der große Vorzug dieses Ansatzes ist, dass er gegenüber der üblichen Energiebilanzierung lediglich einer ergänzenden Betrachtung bedarf. Die Vereinfachungen sind die Annahme symmetrischer Dichtefunktionen voneinander unabhängiger Variablen und die Annahme rein-linearer Bilanzgleichungen. Bei einigen (wenigen) Eingangsgrößen liegen jedoch (vermutlich) stark asymmetrische Dichtefunktionen vor (z.B. beim Luftwechsel). Es ist also zu erwarten, dass die Modellvereinfachungen systematische Verzerrungen der Abbildungsgenauigkeit verursachen – und zwar für die Höhe des Energiebedarfs, die Größe der Unsicherheit nach oben und nach unten (bzw. die Schiefeite der Dichtefunktion, die die Wahrscheinlichkeiten der Zustände beschreibt). Um die Bedeutung dieser Verzerrungen abzuschätzen und gegebenenfalls Korrekturen an dem Erwartungswert und der Unsicherheit des Endenergiebedarfs vornehmen zu können, wird eine Parameterstudie unter Betrachtung unterschiedlicher Gebäudestandards für verschiedene Kategorien der Unsicherheit benötigt. Unter Ansatz von Dichtefunktionen für alle Eingangsparameter würde hierbei das vereinfachte Modell mit einer „Monte-Carlo-Simulation“ verglichen: Bei dieser wird je Eingangsgröße entsprechend der über die Dichtefunktion gegebenen Wahrscheinlichkeit zufällig ein Zustand ausgewählt und mit allen anderen zufällig ausgewählten Zuständen in die Energiebilanzierung eingespielt. Bei sehr häufiger Wiederholung ergibt sich für den Energiebedarf eine Häufigkeitsverteilung, die dann mit dem Ergebnis der vereinfachten Betrachtung verglichen werden kann.

¹² Dies ist eine in der Energieberatung seit den 1980er Jahren für Einzelgebäude zur Abbildung des gemessenen Verbrauchs praktizierte Methode (siehe [Toolbox 2001])

2.6 Vergleichswerte Bedarf

Kalibrierung der Bedarfsberechnung mit dem Klima

Für die energetische Bilanzierung zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs und des Endenergiebedarfs wird das mittlere Klima am Standort jedes Gebäudes verwendet. Es handelt sich also um einen standortbezogenen mittleren Energiebedarf, der auch im Fall eines langjährigen Monitorings für einen bestimmten Gebäudezustand nur einmal berechnet werden muss.

Innerhalb des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs werden diese Bedarfskennwerte zusätzlich mit den Klimadaten des Verbrauchsjahrs am Standort abgeglichen. Hierzu werden für Gradtagzahl und Globalstrahlung Korrekturfaktoren ermittelt, die die Werte des Verbrauchsjahres zum langjährigen Mittel in Beziehung setzen.¹³ Ausgehend von der Realbilanz werden die Bilanzanteile von Transmission und Lüftung mit dem Korrekturfaktor für die Gradtagzahl und der Bilanzanteil der solaren Gewinne mit dem Korrekturfaktor für die Globalstrahlung multipliziert. Mit diesem kalibrierten, auf ein spezifisches Verbrauchsjahr bezogenen Energiebedarf können dann Verbrauchswerte ohne weitere Klimabereinigung verglichen werden.¹⁴

Zuordnung zur Bilanzebene der Verbrauchsmessung

Aus der Art der abgerechneten Messgröße sowie den Abfragen „Messung in den Wohnungen (ohne Verteilverluste im ganzen Haus, bei MFH)“ und „Messung in separater Heizzentrale (inkl. Verteilverluste Erdreich)“ (siehe Bild 1Bild 8) wird der passende Bilanzraum ermittelt und aus der Energiebilanzierung der zugehörige Anteil des Energiebedarfs zugeordnet. Ausgegeben wird neben dem Bedarf-Vergleichswert auch ein Code, der die im Kennwert enthaltenen Bilanzanteile ausweist.¹⁵

Aufgaben für die Weiterentwicklung

- Die bereits für Außentemperatur und Solarstrahlung umgesetzte Kalibrierung der Realbilanz mit Informationen aus dem Verbrauchsjahr könnte im Prinzip auch auf die inneren Wärmequellen und auf den Warmwasserverbrauch ausgedehnt werden. Als Grundlage könnten der Stromverbrauch der Haushalte und die Warmwasserzapfmengen herangezogen werden. Die Sinnhaftigkeit sollte allerdings vorher abgewogen werden – für den Haushaltsstrom wegen des Aufwands für die gebäudeweise Beschaffung (möglicherweise nur bei Einfamilienhäusern verhältnismäßig), für die Warmwasserbereitung aus methodischen Gründen (Warmwasserzapfmengen als Gegenstand des Verbrauchscontrollings, beeinflussbar durch Wasserspararmaturen, Beratung und Verbrauchsfeedbacks).

¹³ Als Datenquelle wird das innerhalb von MOBASY überarbeitete Tool „Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx“ verwendet (www.iwu.de/fileadmin/tools/gradtagzahlen/Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx). Die Berechnungsansätze sind in der zugehörigen MOBASY-Publikation [Loga et al. 2020b] dokumentiert.

¹⁴ Dieser Ansatz folgt dem Prinzip der klaren Trennung zwischen den real messbaren Indikatoren (ohne Korrektur durch von Annahmen abhängige Modelle) und dem (auf Annahmen und Vereinfachungen beruhenden, gegebenenfalls empirisch kalibrierten) physikalischen Modell.

¹⁵ Buchstaben „U“, „D“, „S“, „C“ für Nutzung („utilisation“), Verteilung („distribution“), Speicherung („storage“), Nahwärmeleitung („connection“), und ein zusätzlicher Indikator für die abgerechnete Größe „F“, „H“, „V“, „E“ für Brennstoff („fuel“), Wärme („heat“), Wasservolumen („volume“) und Strom („electricity“). Beispielsweise zeigt der Code „UDS-H“ an, dass es sich um Wärme handelt und im Verbrauchswert neben der Nutzung auch die Speicher- und Verteilverluste enthalten sind (z.B. Wärmeerzeugung eines Kessels im Keller). Ist der Code z.B. „UDSC-F“, so handelt es sich um die erfasste Brennstoffmenge in einer Heizzentrale. „U-V“ wäre demgegenüber der Code für das gemessene Warmwasservolumen. Bild 56 im Anhang B.5 zeigt die Codes für das Beispielgebäude.

2.7 Erwartungsbereich Verbrauch

Die entsprechend Abschnitt 2.4 ermittelten Verbrauchskennwerte können nun mit den gemäß der Beschreibung in Abschnitt 2.5 und 2.6 ermittelten Bedarfswerten verglichen werden. Dabei wird der Unsicherheitsbereich um den Bedarfswert als „Erwartungsintervall“ interpretiert, also als der Energiekennwert-Bereich, in dem die Mehrzahl der Verbrauchskennwerte liegen müsste.

Außerhalb liegende Verbrauchskennwerte sollen im Rahmen des Verbrauchscontrollings einer näheren Untersuchung unterzogen werden (siehe Beschreibung des Vorgehens beim Verbrauchscontrolling in Abschnitt 1.3). Die folgende Tabelle zeigt die Kriterien für die Zuordnung zu einer von drei Gruppen „unauffällig“, „auffällig“ und „extrem“ sowie eine Abschätzung der zu erwartenden Häufigkeit. Das hierfür herangezogene Kriterium wird im Folgenden als „Anomaliegrad“ bezeichnet und stellt die Abweichung des Verbrauchs vom Bedarf im Verhältnis zur Unsicherheit des Bedarfs dar (siehe Tab. 1). Liegen Verbrauchswerte außerhalb des durch Bedarfswert plus Unsicherheit und Bedarfswert minus Unsicherheit gegebenen Intervalls, werden sie als „auffällig“ angesehen (auffällig hoch oder niedrig). Liegen sie außerhalb eines Intervalls der doppelten Unsicherheit rund um den Bedarfswert, werden sie als „extrem“ charakterisiert.

Tab. 1: Kennzeichnung der Verbrauchsdaten entsprechend ihrer „Auffälligkeit“

Anomalie-Code Code_MeterCalc_Anomaly	Einordnung Auffälligkeit des Verbrauchs	Anomalie-Grad* $f_A = \frac{q_m - q_c}{\Delta q_c}$	Bezug zur Unsicherheit des Bedarfs	Häufigkeit Vorkommen im Idealfall**
„Usual“	„unauffällig“	$ f_A \leq 1$	innerhalb	68%
„Noticeable“	„auffällig“	$1 < f_A \leq 2$	außerhalb	27% (= 95% - 68%)
„Extreme“	„extrem“	$ f_A > 2$	außerhalb doppelter Unsicherheit	5%

*) q_m = Verbrauch; q_c = Vergleichswert Bedarf; Δq_c = Unsicherheit des Vergleichswerts Bedarf

**) Idealfall: Es gibt statistische Auswertungen aller Eingangsgrößen und diese sind normalverteilt

3 Besondere Herausforderung: realistische Abschätzung der U-Werte für Bestandsgebäude

3.1 Der U-Wert opaker Bauteile

Der bestimmende Faktor für den Energieverbrauch ist die Wärmedurchlässigkeit der Gebäudehülle. Bestandskonstruktionen sind jedoch nicht zerstörungsfrei prüfbar. Nur selten sind Dokumentationen aus der Bauzeit zum Aufbau der Konstruktionen und zur Art der Materialien erhalten und selbst wenn diese vorliegen, stellt sich die Frage nach der Zuverlässigkeit der Informationen. So gut wie nie dürfte die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit oder auch nur die tatsächliche Rohdichte der Materialien dokumentiert sein, da die Qualitätssicherung von Materialherstellung und -einbau in der Vergangenheit für diese Aspekte kaum üblich war. Wurden Baukonstruktionen bisher nicht geöffnet, kommt zu diesen Unsicherheiten noch die Frage hinzu, inwiefern eventuell Luftschichten oder Hohlräume in der Konstruktion vorliegen (Vormauerschalen, innen oder außenliegende Verkleidungen, Mehrkammersteine, Hohlkörperdecken, ...) oder auch eventuell zusätzliche Bau- oder Dämmplatten verlegt wurden. Bei schlecht gedämmten Bauteilen wirken sich weiterhin Besonderheiten des außen- oder innenliegenden Wärmeübergangs auf den U-Wert aus und bestimmen zusätzlich die praktisch vorkommende Bandbreite.

Sobald jedoch Wärmeschutzmaßnahmen mit nennenswerten Dämmstärken umgesetzt wurden oder werden, bestimmen hauptsächlich deren Umfang (Flächenanteil), Dicke und Wärmeleitfähigkeit die Höhe und die Unsicherheit des U-Wertes. Der U-Wert der originären Konstruktionen ist bei hoher Qualität des nachträglichen Wärmeschutzes nur noch von geringfügiger Bedeutung für den Gesamtwärmedurchgang. Je besser die tatsächliche Umsetzung des nachträglichen Wärmeschutzes dokumentiert ist, desto geringer ist dabei natürlich die Unsicherheit des U-Wertes. Daher ist es sinnvoll, im Zusammenhang mit der Dokumentation von Modernisierungen nicht allein den U-Wert der Konstruktionen (z.B. aus dem EnEV-Nachweis) festzuhalten, sondern mindestens auch Dicke, Wärmeleitfähigkeit und Flächenanteil der nachträglichen Dämmung sowie eine Information, ob die Umsetzung qualitätsgesichert war.

3.1.1 Ansatz für die Berechnung

Soll ein Verbrauchscontrolling in Form eines Soll-Ist-Vergleichs für größere Gebäudebestände umgesetzt werden, so wird eine realistische Abschätzung der U-Werte für unterschiedlichste Modernisierungszustände und Informationslagen benötigt, die dabei gleichzeitig noch mit einer möglichst geringen Zahl von Datenfeldern (Variablen) als Monitoring-Indikatoren auskommt. Um dies zu erreichen wird auf das Energieprofil- und TABULA-Grundschema zurückgegriffen, das je Bauteil zwei Elemente vorsieht:

- eine Originalkonstruktion;
- eine die Originalkonstruktion teilweise oder ganz bedeckende zusätzliche gedämmte Konstruktion, im Folgenden „Dämmschicht“ genannt.

Der U-Wert der Original-Konstruktion wird einer Bauteilsammlung entnommen, die nach in der Praxis leicht feststellbaren Kriterien differenziert ist, dabei aber auch nur die für die Höhe des U-Wertes relevanten Unterscheidungsmerkmale heranzieht. Die einfachste Art einer solchen Tabelle unterscheidet nur nach der Baualtersklasse des Gebäudes und danach, ob es sich um eine massive Konstruktion oder um eine Holzkonstruktion handelt [KV Energieprofil 2005].

Die Dämmwirkung des zusätzlichen Wärmeschutzes wird vereinfacht durch die Dicke der Dämmschicht, die effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht und durch den Flächenanteil der zusätzlichen Dämmschicht an der Gesamtfläche des Bauteils bestimmt.

Für die verwendeten Eingangsgrößen muss dann jeweils auch die Unsicherheit quantifiziert werden, so dass die Unsicherheiten der resultierenden U-Werte und schließlich auch die Unsicherheit des berechneten Energiebedarfs abgeschätzt werden können.

Da es bei der Bewertung größerer Gebäudebestände häufiger vorkommt, dass Teile der genannten Informationen für einzelne Bauteile nicht verfügbar sind, sollte das Schema auch für den Fall unsicherer oder unbekannter Daten eine Berechnung ermöglichen, deren Ergebnis im Mittel etwa die mögliche Spanne der Eingabeparameter abdeckt. Die dadurch vergrößerte Unsicherheit des berechneten Energiebedarfs muss ebenfalls abgeschätzt werden.

Das MOBASY-Konzept für die Ermittlung realistischer U-Werte und deren Unsicherheit kann – differenziert nach baulicher Situation und Informationsstand – wie folgt charakterisiert werden:

➤ **Bestandsbauteile ohne Wärmeschutz-Modernisierung**

- Für den U-Wert der Originalkonstruktion wird ein Pauschalwert entsprechend der Gebäude-Baualterklasse verwendet. Die Unsicherheit gibt die Bandbreite von U-Werten von Bestandsbauteilen ohne Wärmeschutz-Modernisierung wieder.
- Der Flächenanteil der zusätzlichen Dämmung ist 0 %.
- Die Dämmstärke der zusätzlichen Dämmung ist 0 cm.

➤ **Bauteile, für die keine Informationen über Wärmeschutz-Modernisierungen vorliegen**

Der U-Wert des Bauteils gibt den mittleren Zustand ähnlicher Gebäude im Gebäudebestand wieder, wobei gleichzeitig eine hohe Unsicherheit besteht. Innerhalb des gegebenen Konzepts für die U-Wert-Ermittlung wird dies wie folgt umgesetzt:

- U-Wert der Originalkonstruktion: siehe oben;
- Für den Flächenanteil der zusätzlichen Dämmung wird der mittlere Zustand im Gebäudebestand herangezogen (Wert aus Wohngebäudeerhebung). Die angesetzte Unsicherheit gibt die Bandbreite zwischen "kein zusätzlicher Wärmeschutz" bis "vollständiger zusätzlicher Wärmeschutz" wieder.
- Für die Dämmstärke der zusätzlichen Dämmung (auf dem oben ermittelten Flächenanteil) wird die mittlere Dämmstärke für Gebäude mit in der Vergangenheit realisierter zusätzlicher Dämmung herangezogen. Die angesetzte Unsicherheit der Dämmstärke gibt die Bandbreite der in der Praxis vorkommenden Dämmstärken wieder (Wert aus Wohngebäudeerhebung).

➤ **Bauteile, für die Informationen über Wärmeschutz-Modernisierungen vorliegen**

- U-Wert der Originalkonstruktion: siehe oben
- Liegen Informationen zum Flächenanteil oder zur Dämmstärke für das Bauteil vor, werden jeweils diese statt der oben genannten Pauschalwerte verwendet. Es erfolgt eine Zuordnung von reduzierten Unsicherheiten in Abhängigkeit der Einstufung der Unsicherheit (siehe beispielhafte Darstellung für die Dämmstärke in Bild 7).
- Ist allein das Jahr einer Wärmeschutz-Modernisierung bekannt, werden Schätzwerte für die Dämmstärke von in diesem Zeitraum im Gebäudebestand typischerweise durchgeführten Maßnahmen verwendet (Werte aus Wohngebäudeerhebung sofern verfügbar; sonst Expertenschätzung).

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass die bei unbekanntem Zustand verwendeten Pauschalwerte bzw. Durchschnittswerte keinesfalls als Monitoring-Größen interpretiert werden dürfen und somit auch nicht in die statistische Auswertung des Zustands übernommen werden dürfen. Es handelt sich einzig und allein um Hilfsgrößen für die energetische Bilanzierung.

Entsprechend diesem Schema werden also je Bauteil die folgenden Pauschalwerte verwendet, die in den nachfolgenden Abschnitten kurz dargestellt sind (Details zur Herleitung finden sich im Anhang C):

- Originäre U-Werte von Bauteilen ohne Wärmeschutz-Modernisierung nach Baualtersklasse und grober Kategorisierung (Pauschalwert + Unsicherheit) im Abschnitt 3.1.2 (Herleitung im Anhang C.1);
- Flächenanteile der Wärmeschutz-Modernisierung für zwei Fälle der Information zur nachträglichen Dämmung, differenziert nach groben Klassen des Gebäudebaualters im Abschnitt 3.1.3 (Herleitung im Anhang C.2);
- Dämmstärken und Wärmeleitfähigkeiten von Wärmeschutz-Modernisierungen, differenziert nach dem Jahr der Umsetzung im Abschnitt 0 (Anhang im Abschnitt C.3 und C.4).

Im Abschnitt 3.1.5 ist dargestellt, wie die aus den Einzelwerten resultierende Gesamtunsicherheit des effektiven U-Wertes der Konstruktionen ermittelt wird (Details im Anhang C.5). Eine Parameterstudie zeigt zudem, wie der Betrag und die Unsicherheit des effektiven U-Wertes einer Konstruktion von den vorhandenen bzw. nicht vorhandenen Eingabedaten abhängen (Anhang C.5.4, Beispiele im Abschnitt 3.2.4).

3.1.2 U-Wert der Originalkonstruktion

Die Problematik der Ermittlung der U-Werte opaker Bauteile im unsanierten Bestand wird durch zwei grundsätzliche Defizite wesentlich geprägt:

- Es gibt keine empirischen Daten zu den thermischen Eigenschaften.
- Der Konstruktionsaufbau ist von außen nicht zu erkennen.

Beides in Kombination lässt es nicht sinnvoll erscheinen, bei der Analyse von größeren Altbaubeständen U-Wert-Berechnungen für unsanierte Bauteile durchzuführen. Selbst wenn systematisch durch Öffnen von Bauteilen je Gebäude partiell der Konstruktionsaufbau sichtbar gemacht würde, bliebe immer noch die Frage zu beantworten, welche Wärmeleitfähigkeit die gefundenen Materialien tatsächlich haben. Der Aufwand, systematisch Materialproben zu entnehmen und Wärmeleitfähigkeitsmessungen vorzunehmen, ist viel zu hoch, so dass dies bei der Vor-Ort-Energieberatung nicht praktiziert wird und für die Bewertung von größeren Beständen völlig ausgeschlossen ist.

Bei der Bewertung größerer Gebäudebestände sollen also die U-Werte unsanierter Bauteile nicht berechnet, sondern mit einem nachvollziehbaren Verfahren sehr grob geschätzt werden. Für die Bildung dieser Pauschalwerte werden Erfahrungen aus der Energieberatung und der Modernisierungsplanung herangezogen, in deren Rahmen Experten Gebäude begangen haben und den Aufbau von Bauteilen durch Sichtung von Bauunterlagen, Befragung von Eigentümern oder im Zusammenhang mit Sanierungen durch Öffnen von Konstruktionen grob ermittelt und damit U-Werte berechnet haben.¹⁶ Da es keine Datenbank für die im Zuge einer Energieberatung oder Modernisierungsplanung erhobenen Daten gibt, kann dieser Erfahrungsschatz leider nicht direkt verwendet werden. Was es allerdings gibt, sind auf lokaler oder regionaler Ebene entwickelte Bauteil- oder Gebäudetypologien, in deren Rahmen Gebäude-Energie-Experten die nach ihrer Erfahrung verbreiteten Konstruktionen zusammengestellt haben, für die dann beispielhaft die durch energetische Modernisierung erzielbare Verbesserung des Wärmeschutzes und Reduzierung des Energieverbrauchs beschrieben wird.

¹⁶ Die Zuordnung von Wärmeleitfähigkeiten innerhalb der in Baustofftabellen vorhandenen Spannen (meist differenziert nach Rohdichten) war dabei sicher nur „nach Gefühl“ erfolgt.

Die in Deutschland vorhandenen Gebäude- und Bauteiltypologien wurden im Rahmen einer Masterarbeit zusammengetragen und ausgewertet [Renhof 2018]. Die Typologien zeigen – meist auf eine Kommune oder Region bezogen – typische Beispiele für Konstruktionen von Wohngebäuden aus dem Bestand. Für diese Konstruktionen sind in den zugehörigen Dokumentationen in den meisten Fällen grafische Darstellungen und U-Wert-Berechnungen vorhanden. In der Arbeit wurden die verfügbaren Dokumentationen zusammengetragen, nach verschiedenen Kriterien (Baualtersklasse, Gebäudegröße, Art der Konstruktion) systematisiert und zu Diagrammdarstellungen aufbereitet. Weiterhin findet sich in der Masterarbeit eine Zuordnung und Diskussion dieser Werte zu den Pauschalwerten, die von der Bundesregierung veröffentlicht werden und die für den EnEV-Nachweis genutzt werden können [EnEV-Bkm Daten WGB 2015].

Diese umfangreiche und systematische Sammlung wurde als Grundlage für die Ermittlung von pauschalen U-Werten und zugehörigen Unsicherheiten für die Realbilanzierung verwendet. Die Details finden sich in Anhang C.1.

Die Diagramme in Bild 12 geben einen Überblick über die Ergebnisse der nachträglich durchgeführten quantitativen Analysen (Details im Anhang C.1.1). Je Baualtersklasse sind der Mittelwert und die Standardabweichung dargestellt. Ebenfalls eingetragen sind die nach EnEV-Bekanntmachungen [EnEV-Bkm Daten WGB 2015] vereinfacht zu verwendenden U-Werte. Bei älteren Baualtersklassen finden sich diese Pauschalwerte tendenziell im oberen Bereich des Streufeldes. Eine Ausnahme stellen die Geschossdecken aus Holz dar, wo die EnEV-Pauschalwerte gut den Mittelwert aus den Typologien treffen. Bei neueren Baualtersklassen ab ca. 1969 stimmen die EnEV-Werte recht gut mit den Mittelwerten der Analyse überein.

Die hier dargestellten Mittelwerte und Streuungen sind Grundlage der in Tab. 2 angegebenen vereinfachten MOBASY-Pauschalwerte für die Baualtersklassen bis 2001 (Details in Anhang C.1).

Bild 12: U-Werte aus Gebäude- und Bauteiltypologien / Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen je Baualterklasse und Vergleich mit den Pauschalwerten nach EnEV-Bekanntmachungen

Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analyse und Darstellung

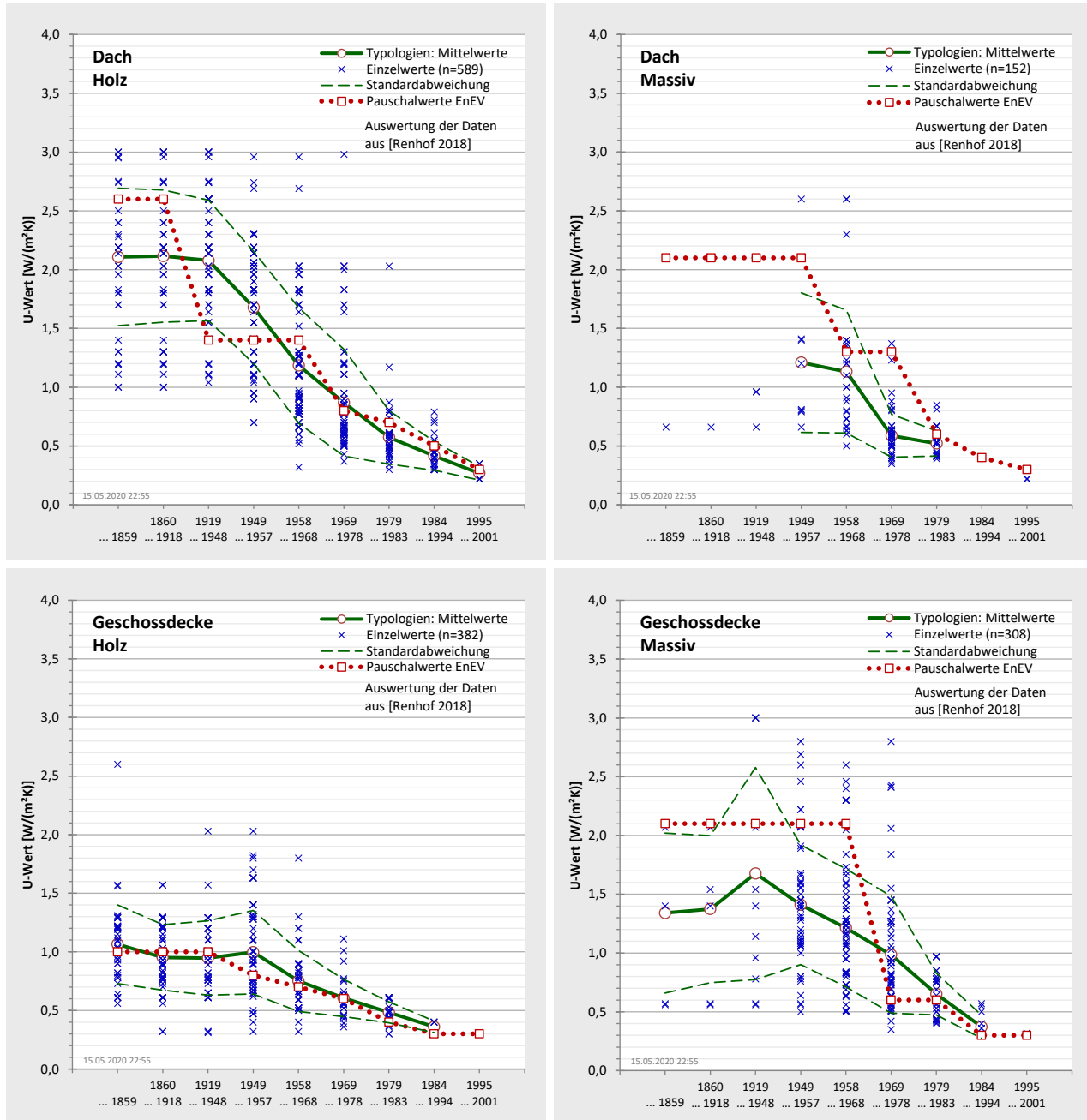
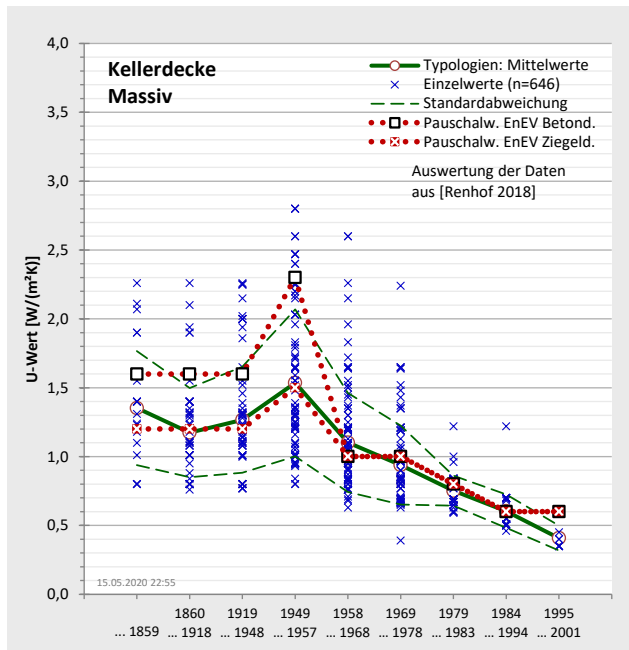
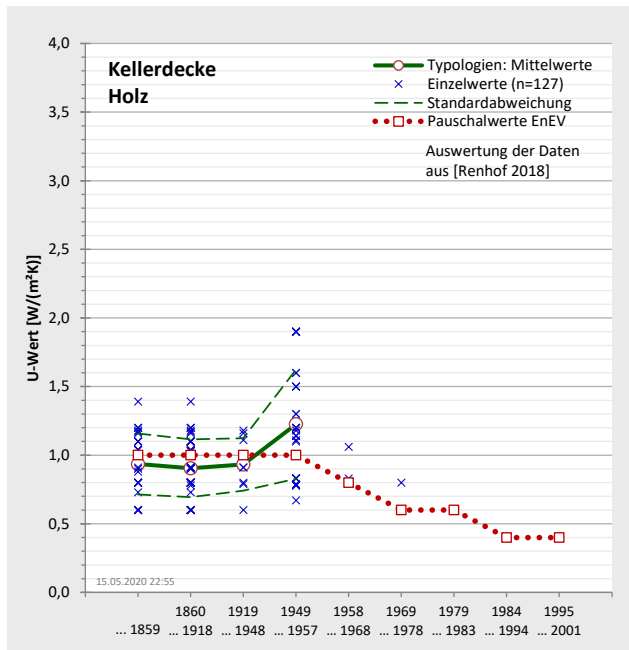
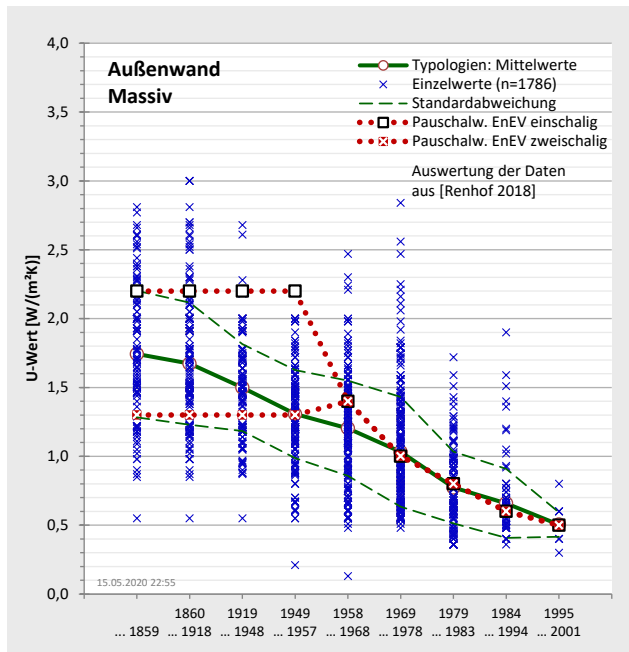
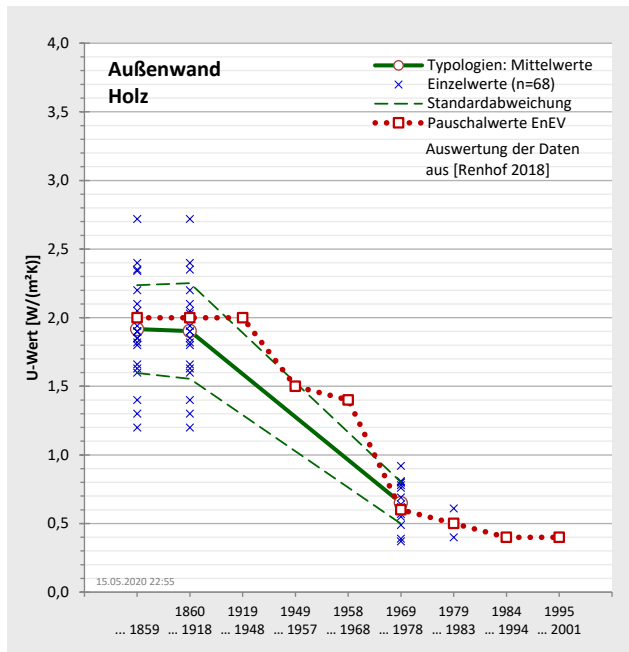


Bild 12 (Fortsetzung)



Da Auswertungen der Typologiedaten nur für die Baualtersklassen bis 2001 möglich waren, mussten U-Werte neuerer Gebäude aus einer anderen Quelle ergänzt werden. Hierzu wurden Beispielberechnungen aus der deutschen Wohngebäudetypologie herangezogen [WG-Typologie-DE 2015]. Es wurden für drei unterschiedlich große Gebäude jeweils drei U-Wert-Niveaus ermittelt (gesetzliche Grenzwerte, einfacher KfW-Förderstandard; Passivhaus-Niveau bzw. bester KfW-Förderstandard; siehe Anhang C.1.2, Tab. 16). Für Gebäude ab 2010 werden darüber hinaus noch drei unterschiedliche Heizsysteme betrachtet, für die sich jeweils unterschiedliche U-Werte bei Einhaltung der EnEV-Anforderungen ergeben. Die so bestimmten Mittelwerte sind Grundlage der in Tab. 2 angegebenen vereinfachten MOBASY-Pauschalwerte für die Baualtersklassen ab 2002 (Details in Anhang C.1). Die Variationsbreiten fließen in die Bewertung der Unsicherheit der Ausgangs-U-Werte opaker Konstruktionen in Abschnitt 3.2 ein.

Tab. 2: Pauschale U-Werte für die Bauteile Dach, oberste Geschossdecke, Außenwand und Fußboden / Kellerdecke, differenziert nach der Baualtersklasse des Gebäudes und der Konstruktionsart „massiv“, „Holz“ oder „unbekannt“

(Die Anwendung der Tabelle im Rechenverfahren ist in Anhang D dokumentiert / Version mit Variablennamen: Tab. 50)

Baualter- klasse Gebäude		Pauschale U-Werte für die verschiedenen Bauteiltypen und -arten											
		Repräsentation der Mittelwerte im unsanierten Bestand											
		[W/(m²K)]											
von	bis	Dach			oberste Geschossdecke			Außenwand			Fußboden / Kellerdecke		
		unbe- kannt	massiv	Holz	unbe- kannt	massiv	Holz	unbe- kannt	massiv	Holz	unbe- kannt	massiv	Holz
	1859	2,00	2,00	2,00	1,10	1,30	1,00	1,70	1,70	1,90	1,20	1,20	1,00
1860	1918	2,00	2,00	2,00	1,10	1,30	1,00	1,70	1,70	1,90	1,20	1,20	1,00
1919	1948	2,00	2,00	2,00	1,10	1,30	1,00	1,50	1,50	1,50	1,20	1,20	1,00
1949	1957	1,60	1,20	1,60	1,10	1,30	1,00	1,30	1,30	1,30	1,20	1,20	1,00
1958	1968	1,20	1,00	1,20	1,10	1,30	0,80	1,20	1,20	0,80	1,20	1,20	0,80
1969	1978	0,80	0,60	0,80	0,90	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60
1979	1983	0,60	0,50	0,60	0,60	0,70	0,50	0,80	0,80	0,50	0,80	0,80	0,60
1984	1994	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,70	0,70	0,40	0,60	0,60	0,40
1995	2001	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,30	0,40	0,40	0,40
2002	2009	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,22	0,22	0,22	0,26	0,26	0,26
2010	2015	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,24	0,24	0,24
2016		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18

Status: 29-05-2020

3.1.3 Flächenanteil Dämmung

Ist eine nachträgliche Dämmung vorhanden aber kein Flächenanteil für die Dämmung bekannt, so werden für die Berechnung Pauschalwerte des Flächenanteils verwendet, was gleichzeitig die Unsicherheit der Eingabedaten erhöht. Als Grundlage für diese Pauschalwerte werden die bei der Wohngebäudeerhebung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018] für bereits nachträglich gedämmte Bauteile erhobenen Flächenanteile der Dämmung differenziert nach Bauteiltyp herangezogen.

Ist dagegen unbekannt, ob überhaupt eine nachträgliche Dämmung vorgenommen wurde, so wird in der Bilanzierung für das Bauteil von einem bezogen auf den Gesamtbestand mittleren Zustand ausgegangen und dieser Aussage eine große Unsicherheit zugeordnet, da die Flächenanteile im Prinzip in einem Bereich zwischen 0% (ungedämmt) und 100% (vollständig gedämmt) liegen können. Aus der Wohngebäudeerhebung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018] liegen diese Daten differenziert nach Gebäudegröße (Ein-/Zweifamilienhäuser "EFH" und Mehrfamilienhäuser "MFH") und nach Baualtersklasse vor.

Tab. 3 zeigt die so ermittelten Pauschalwerte für den Flächenanteil – die Herleitung ist in Anhang C.2 beschrieben. Die abgeleiteten Unsicherheiten finden sich in Tab. 30 des Abschnitts zur Unsicherheitsbewertung opaker U-Werte (Kapitel 3.2.2).

Tab. 3: Pauschalansätze für den Flächenanteil nachträglicher Dämmung bei Konstruktionen mit Wärmeschutzmodernisierung und unbekanntem Flächenanteil sowie für Konstruktionen ohne Information darüber, ob eine Modernisierung stattgefunden hat

(Die Anwendung der Tabelle im Rechenverfahren ist in Anhang D dokumentiert / Version mit Variablenamen: Tab. 51)

		pauschale Flächenanteile nachträglicher Dämmung			
		Dach	oberste Geschossdecke	Außenwand	Fußboden / Kellerdecke
		Wärmeschutzmodernisierung liegt vor, Flächenanteil ist unbekannt			
		0,90	0,90	0,75	0,80
Gebäude errichtet		unbekannt, ob es eine Wärmeschutzmodernisierung gab			
von	bis	Ein- und Zweifamilienhäuser			
	1978	0,53	0,53	0,26	0,13
1979	1994	0,19	0,19	0,10	0,05
1995	2009	0,04	0,04	0,02	0,02
2010		0,00	0,00	0,00	0,00
		Mehrfamilienhäuser			
	1978	0,62	0,62	0,37	0,19
1979	1994	0,19	0,19	0,10	0,05
1995	2009	0,04	0,04	0,02	0,02
2010		0,00	0,00	0,00	0,00

Status: 22-02-2021

3.1.4 Dämmstärke und Wärmeleitfähigkeit

Die drei Energieprofil-Eingabegrößen Flächenanteil, Dicke und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht sollten im Grundsatz so verwendet werden, dass die Dämmwirkung der zum originären Bauteil zusätzlich installierten Wärmedämmung (resultierender Wärmedurchlasswiderstand) möglichst realitätsnah abgebildet wird. Die Definitionen der drei Größen hängen also zusammen und sind dabei davon abhängig, was als Monitoringindikator an einem Bestandsgebäude tatsächlich gut ermittelbar ist. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die realitätsnahe Erfassung von Sparrendächern und anderen Holzkonstruktionen mit Dämmung zwischen Traghölzern dar. Unter Berücksichtigung dieser Konstruktionen sieht das Standardschema für die Erfassung und die Verwendung von Pauschalwerten bei der Wärmedämmung wie folgt aus:

- Der **Flächenanteil der zusätzlichen Dämmung** ist der Prozentanteil der gesamten betroffenen Fläche. Ist eine Zwischensparrendämmung mit einem Flächenanteil von 100 % ausgeführt, bedeutet dies, dass kein Sparrenfeld mehr ungedämmt ist. Die Maßnahme Zwischensparrendämmung wurde für das gesamte Bauteil umgesetzt.
- Die **nominale Dämmstärke** ist die vor Ort messbare Dicke des Dämmmaterials. Bei der Zwischensparrendämmung entspricht dies also der Dicke des Dämmstoffes zwischen den Sparren. Gibt es zusätzlich noch eine Auf- oder Untersparrendämmung, wird die entsprechende zusätzliche Dämmdicke vereinfachend hinzuaddiert.

- Die **effektive Wärmeleitfähigkeit** des Dämmstoffes ist im Grundsatz die Wärmeleitfähigkeit, die bei gegebenem Flächenanteil und nominaler Dämmstärke angesetzt werden muss, um die gleiche Dämmwirkung (den gleichen Wärmedurchlasswiderstand) zu erreichen, wie beim realen Bauteil. Liegt eine detaillierte U-Wert-Berechnung vor, so wird die Dämmstärke in Metern durch den Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ geteilt, um die effektive Wärmeleitfähigkeit der Maßnahme zu ermitteln.

Die in der folgenden Tabelle angegebenen Pauschalwerte für nominale Dämmstoffstärken und Streubreiten wurden aus der Wohngebäudeerhebung 2016 ([Cischinsky / Diefenbach 2018], siehe Anhang C.3) ermittelt. Bei den in der Tabelle zusätzlich angegebenen Pauschalwerten für die effektive Wärmeleitfähigkeit wurden im Fall der Holzkonstruktionen typische Maßnahmen für Zwischen- und ggf. Unter- oder Aufsparrendämmung bei Ansatz unterschiedlicher Dämmstärken berücksichtigt. Details zur Herleitung sowie Pauschalwerte für bekannte Dämmstärken sind in Anhang C.4 dokumentiert.

Tab. 4: Pauschalansätze für die nominale Dämmstärke und für die effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung bei Konstruktionen mit unbekannten Erhebungsgrößen differenziert nach Bauteiltyp und Art des Bauteils sowie nach dem Zeitraum der Modernisierung bzw. des Einbaus der Dämmung

(Die Anwendung der Tabelle im Rechenverfahren ist in Anhang D dokumentiert / Version mit Variablenamen: Tab. 52)

Bauteiltyp		Dach		oberste Geschossdecke	Außenwand		Wand gegen Keller oder Erdreich	Fußboden / Kellerdecke
Bauteilart bzw. Art der Dämmung		Holzkonstruktion	Massivdach		Außendämmung oder unbekannt	Innendämmung		
Jahr der Dämmung		pauschale nominale Dämmstärken [cm]						
von	bis							
	1968	1	1	1	1	1	1	1
1969	1978	5	4	4	2	1	1	1
1979	1983	8	6	6	3	2	2	2
1984	1994	10	9	9	5	3	4	4
1995	2001	12	12	12	8	4	7	7
2002	2009	14	13	13	10	5	8	8
2010	2015	15	14	14	12	6	8	8
2016		18	15	15	12	6	10	10
Jahr der Dämmung		Pauschalwerte der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes [W/(m·K)]						
von	bis							
	1968	0,065	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
1969	1983	0,060	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
1984	2001	0,055	0,035	0,040	0,040	0,040	0,040	0,035
2002		0,045	0,030	0,035	0,035	0,035	0,035	0,030

Status: 28-05-2020

3.1.5 Resultierender U-Wert

Unter Berücksichtigung von Teilmodernisierungen setzt sich der U-Wert opaker Bauteile nun aus den flächengewichteten U-Werten des originären Bereichs U_{or} und des energetisch modernisierten Bereichs U_{Ins} zusammen:

$$(7) \quad U_{eff} = (1 - f_{Ins}) \cdot U_{or} + f_{Ins} \cdot U_{Ins} \quad [W/(m^2K)]$$

Setzt man in Gl. (7) die den U-Wert des modernisierten Bauteilbereichs U_{Ins} bestimmenden Größen ein, ergibt sich die im Rahmen von MOBASY verwendete Grundgleichung für den effektiven U-Wert opaker Bauteile (vgl. Anhang C.5):

$$(8) \quad U_{eff} = (1 - f_{Ins}) \cdot U_{or} + f_{Ins} \cdot \frac{1}{\frac{1}{U_{or}} + \frac{d_{Ins}}{\lambda_{Ins,eff}}} \quad [W/(m^2K)]$$

mit	U_{or}	U-Wert im Original-Zustand ohne zusätzliche Dämmung	$[W/m^2K]$
	f_{Ins}	Flächenanteil Dämmung	$[-]$
	d_{Ins}	(nominale) Dämmstärke	$[m]$
	$\lambda_{Ins,eff}$	effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	$[W/(m \cdot K)]$

Die U-Werte der originären Bauteile werden Tab. 2 entnommen, wobei für die Bauteile oberste Geschossdecke, Kellerdecke und Wand zum Keller ein zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand für angrenzende, nicht beheizte Bereiche R_{add} angesetzt wird:

$$(9) \quad U_{or} = \frac{1}{\frac{1}{U_{or,type}} + R_{add}} \quad [W/(m^2K)]$$

mit	$U_{or,type}$	U-Wert im Original-Zustand ohne zusätzliche Dämmung als Pauschalwert entsprechend Tab. 2	$[W/m^2K]$
	R_{add}	optional anzusetzender zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstands für angrenzende nicht beheizte Bereiche	$[m^2K/W]$

Zu beachten ist, dass bei fehlenden Angaben für den Flächenanteil, die Dicke oder die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung je nach Zusatzangaben (z.B. Baujahr; nachträgliche Dämmung vorhanden oder nicht) unterschiedliche Pauschalwerte aus den Tabellen der vorangegangenen Abschnitte verwendet werden müssen. Die detaillierten Rechenregeln hierzu finden sich im Anhang D.

3.2 Resultierende Gesamtunsicherheit des U-Wertes opaker Konstruktionen

3.2.1 Abhängigkeit von den Unsicherheiten der Eingangsgrößen

Die Gesamtunsicherheit des effektiven U-Wertes gemäß Gl. (8) hängt von der Unsicherheit der Eingangsdaten ΔU_{or} , Δf_{ins} , Δd_{ins} , $\Delta \lambda_{ins,eff}$ ab. Gemäß dem vereinfachten Konzept für die Unsicherheitsbewertung entsprechend Abschnitt 2.5 wird die Unsicherheit der resultierenden Größe nach dem Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz ermittelt.¹⁷ Hierzu wird zunächst für jede Eingangsgröße die Auswirkung ihrer Unsicherheit auf den U-Wert einzeln bestimmt und deren quadrierte Werte summiert. Die Wurzel aus dieser Summe ist die Gesamt-Unsicherheit des effektiven U-Wertes:

$$(10) \quad \Delta U_{eff}(\Delta U_{or}, \Delta f_{ins}, \Delta d_{ins}, \Delta \lambda_{ins,eff}) \quad [W/(m^2K)]$$

$$= \sqrt{\Delta U_{eff}^2(\Delta U_{or}) + \Delta U_{eff}^2(\Delta f_{ins}) + \Delta U_{eff}^2(\Delta d_{ins}) + \Delta U_{eff}^2(\Delta \lambda_{ins,eff})}$$

mit $\Delta U_{eff}()$	Unsicherheit des berechneten effektiven U-Werts, verursacht durch die Unsicherheit der jeweiligen Eingangsgrößen	$[W/m^2K]$
ΔU_{or}	Unsicherheit des U-Werts im Original-Zustand ohne zusätzliche Dämmung	$[W/m^2K]$
Δf_{ins}	Unsicherheit des Flächenanteils der Dämmung	$[-]$
Δd_{ins}	Unsicherheit der Dämmstärke	$[m]$
$\Delta \lambda_{ins,eff}$	Unsicherheit der effektiven Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	$[W/(m \cdot K)]$

Die Rechenregeln für die Ermittlung der Einzelterme der Gesamtunsicherheit sind in Anhang D.4 dargestellt, deren Herleitung in Anhang C.5 dokumentiert.

Wie stark die jeweilige Unsicherheit einer Eingangsgröße zur Gesamtunsicherheit des U-Wertes beiträgt, wird über Relevanzfaktoren ermittelt, die jeweils Werte zwischen 0 und 1 einnehmen können (siehe Anhang D.4.2). Die Summe der vier Relevanzfaktoren für originären U-Wert, Flächenanteil, Dicke und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht ist für jeden Bauteil-U-Wert gleich 1. Die Werte sind rein informativ und gehen nicht in die Berechnung der Gesamtunsicherheit ein.

¹⁷ Es handelt sich hier um eine näherungsweise Abschätzung der Gesamtunsicherheit. Exakt gilt das Gesetz nur unter der Voraussetzung, dass die Eingangsvariablen der U-Wert-Berechnung voneinander unabhängig sind und dass deren Unsicherheit jeweils eine symmetrische Dichteverteilung aufweist.

3.2.2 Unsicherheitsklassen zur Einstufung der Unsicherheiten der Eingangsgrößen

Für jede der vier Eingangsvariablen für die U-Wert-Berechnung von ganz oder teilweise modernisierten Bauteilen muss die Unsicherheit der gemäß Abschnitt 3.1 angesetzten Werte ermittelt werden. Zu diesem Zweck wird die Unsicherheit der Variablen entsprechend der Art der Datenquelle und der Vollständigkeit der Informationen in eine von fünf Unsicherheitsklassen ("A", "B", "C", "D", "E") eingestuft. In Tab. 5 sind die hierfür verwendeten Regeln beschrieben, die formalisierte Umsetzung in Form von Rechenregeln findet sich im Anhang D.4.2.

Tab. 5: Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen je Erhebungsgröße bzw. Modelleingangsvariable

Formel-symbol	Variable / Datenfeldname*	Unsicherheitsklasse				
		A	B	C	D	E
U_{or}	U_Original	auf der Grundlage von Informationen über die Schichten der realen Konstruktion berechneter U-Wert	U-Wert aus Pauschalwerttabelle, Gebäude nach 1995 errichtet	U-Wert aus Pauschalwerttabelle, Gebäude zwischen 1983 und 1994 errichtet	U-Wert aus Pauschalwerttabelle, Gebäude bis 1983 errichtet	Baujahr des Gebäudes unbekannt
f_{ins}	f_Insulation	Flächenanteil Dämmung aus Planungsdaten, qualitätsgesichert	Flächenanteil Dämmung aus Planungsdaten	Flächenanteil Dämmung ermittelt durch Vor-Ort-Begehung oder aus Akten des Gebäudeeigentümers	Wärmedämmung ist vorhanden, aber keine Information über den Flächenanteil (Pauschalwert ist der durchschnittliche gedämmte Flächenanteil aller nachträglich gedämmter Gebäude)	Unbekannt ob nachträgliche Dämmung vorhanden (Pauschalwert ist der durchschnittlich gedämmte Flächenanteil aller Gebäude)
d_{ins}	d_Insulation	Dämmstärke aus Planungsdaten, qualitätsgesichert	Dämmstärke aus Planungsdaten	Dämmstärke ermittelt durch Vor-Ort-Begehung oder aus Akten des Gebäudeeigentümers	Wärmedämmung ist vorhanden, aber keine Information über die Dämmstärke (Jahr der Umsetzung bekannt)	Wärmedämmung ist vorhanden, aber weder Information über die Dämmstärke noch über das Jahr der Umsetzung
$\lambda_{ins,eff}$	Lambda_Insulation	Wärmeleitfähigkeit aus Planungsdaten, qualitätsgesichert	Wärmeleitfähigkeit aus Planungsdaten	Wärmeleitfähigkeit ermittelt bei Vor-Ort-Begehung (sichtbare Kennzeichnung der Materialien) oder aus Akten des Gebäudeeigentümers	Wärmedämmung ist vorhanden, aber keine Information über die Materialien (Jahr der Umsetzung bekannt)	Wärmedämmung ist vorhanden, aber weder Information über die Materialien noch über das Jahr der Umsetzung

*) Die jeweiligen Modell-Eingangsvariablen haben das Suffix "_Calc"

Die Zahlenwerte für die Unsicherheiten dieser fünf Klassen zeigt Tab. 6, teils in Form relativer und teils in Form absoluter Unsicherheiten. Im Fall der Dämmstärke sind beide angegeben: Bei kleinen Dämmstärken relevant ist die relative Unsicherheit, bei größeren Dämmstärken die absolute Unsicherheit in cm. Die Werte wurden teilweise im Zusammenhang mit den Pauschalwerten (Abschnitt 3.1) ermittelt, teilweise handelt es sich um Expertenschätzungen (insbesondere bei Klassen „A“ und „B“, die im Kontext von Neubau- oder Modernisierungsplanungen relevant sind). Die Herleitung der tabellierten Werte für die Unsicherheit ist im Anhang C detailliert beschrieben.

Tab. 6: Zuordnung von relativen bzw. absoluten Unsicherheiten zu den Unsicherheitsklassen der Erhebungsgrößen bzw. Modelleingangsvariablen

Formel-symbol	Variable / Datenfeldname*	relative Unsicherheit					absolute Unsicherheit					
		Unsicherheitsklasse					Einheit	Unsicherheitsklasse				
		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
U_{or}	U_Original_Class	10%	20%	25%	30%	50%						
f_{ins}	f_Insulation**							0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
d_{ins}	d_Insulation***	5%	10%	25%	40%	50%	cm	0,5	1,0	2,0	5,0	8,0
$\lambda_{ins,eff}$	Lambda_Insulation	5%	10%	15%	20%	30%						

*) Die jeweiligen Modell-Eingangsvariablen haben das Suffix "_Calc"

**) $f_{Insulation}$: Weitere Bedingung für die relative Unsicherheit des Dämmanteils (Delta_f_Insulation_Uncertainty): Sie kann nicht größer sein als das Minimum der beiden Werte $f_{Insulation}$ und $1 - f_{Insulation}$.

***) $d_{Insulation}$: Das Minimum der sich aus den absoluten und relativen Angaben ergebenden cm-Beträge wird als Ansatz für die Unsicherheit der Dämmstärke verwendet.

3.2.3 Einordnung der Zuverlässigkeit der Informationen durch Kategorisierung der Datenquellen

Die Art der Datenquelle wird entsprechend dem in Bild 13 dargestellten Schema erfasst. Dabei können die Angaben für die thermische Hülle entweder global zugeordnet werden (z.B. im Fall einer Vor-Ort-Erhebung) oder jeweils einzeln (z.B. im Fall der qualitätsgesicherten Planung und Umsetzung einer Teilmodernisierung).

Bild 13: Auszug aus dem Energieprofil-Fragebogen, Blatt „Einstellungen“ („Form.Settings“) – Schema der Erfassung der Datenquellen

Gebäudehülle	Planungsdaten + Qualitätssicherung	Planungsdaten (z.B. Energieausweis)	Vor-Ort-Erhebung (Begehung oder Foto-Dokumentation)	Akten / Angaben Gebäude-eigentümer	keine Datenquelle	keine Information über die Datenquelle
alternativ: gesamt oder einzeln						
Gebäudehülle gesamt	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Einzelangaben Gebäudehülle						
Fläche der Hülle	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmedurchlässigkeit Gebäudehülle						
Dach / ob. Geschossdecke	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Außenwand	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fenster	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fußboden / Kellerdecke	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmebrücken	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Die Codes der abgefragten Variablen sind: „DesignDataPlusQA“, „DesignData“, „InspectionOnSite“, „RecordBuildingOwner“, „NoDataSource“, „_NA_“. Der letzte Fall „keine Information über die Datenquelle“ hat die gleiche Unsicherheitseinstufung wie „keine Datenquelle“ zur Folge. Im Gegensatz zu „keine Datenquelle“ (hier liegen keine Angaben vor) ist hier ein Fall gemeint, in dem Zahlenwerte vorliegen, aber die Quelle der Zahlen unbekannt ist – also z.B. nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, ob die Angaben aus der Planung oder aus einem Vorkonzept stammen.

3.2.4 Illustration an Beispielen

Die folgenden beiden Diagramme zeigen beispielhaft, wie die so definierte Unsicherheit des effektiven U-Wertes von den Eingangsdaten abhängt. Dabei wird von einer Vor-Ort-Datenaufnahme in dem Bestandsgebäude ausgegangen (Kategorie der Datenquelle: "InspectionOnSite", siehe vorangegangener Abschnitt) und es werden die entsprechenden Zahlenwerte für die Unsicherheit verwendet (siehe Fußzeile unter den Abbildungen).

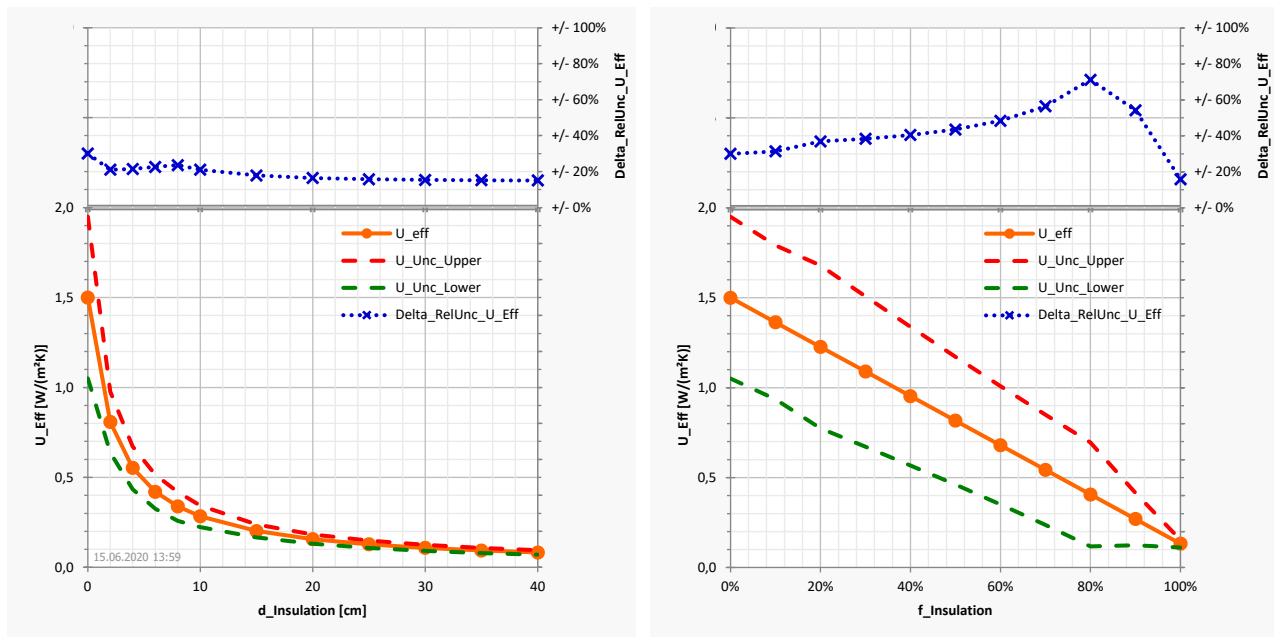
Im Diagramm auf der linken Seite wird, ausgehend von einem originären U-Wert von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, die Dicke der Dämmung einer Wärmeschutz-Modernisierung variiert (Bild 14a). Dabei wird eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ angesetzt und angenommen, dass 100% der Bauteilfläche gedämmt ist. Die relative Unsicherheit des U-Wertes des ungedämmten Bauteils von 30% wird durch die Dämmung auf Werte um 20% reduziert (oberer Teil des Diagramms). Die absolute Unsicherheit geht dabei sehr stark zurück: von $\pm 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bei einem U-Wert von $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf $\pm 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bei einem U-Wert um die $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Interessant ist, dass bei den hohen Dämmstoffstärken die Unsicherheit des U-Wertes zu 90% durch die Unsicherheit des Lambda-Wertes (hier mit 15% angesetzt) bestimmt wird. Die für die Ermittlung von großen Dämmstoffstärken angesetzte Unsicherheit von $\pm 2 \text{ cm}$ wirkt sich also nur geringfügig aus.

Das Diagramm auf der rechten Seite (Bild 14b) zeigt die Abhängigkeit vom Flächenanteil der Dämmung für eine Dämmstoffstärke von 24 cm. Bei der gegebenen absoluten Unsicherheit von $\pm 0,20$ für den Flächenanteil bleibt bei dieser großen Dämmstärken mit zunehmendem Flächenanteil die absolute Unsicherheit des effektiven U-Wertes bis zu einem Flächenanteil von ca. 80% fast konstant gleich. Eine besonders große relative Unsicherheit haben also U-Werte modernisierter Gebäude, wenn noch ein kleinerer (geschätzter) Flächenanteil der Bauteile unsaniert bleibt.

Weitere Einblicke in die Abhängigkeit der Unsicherheit des effektiven U-Wertes von den Eingangsparametern und deren Unsicherheiten finden sich in der Dokumentation der Parameterstudie in Anhang C.5.4.

Bild 14: Beispiele für die Veränderung der Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation (a) der Dämmstärke $d_{\text{Insulation}}$ und (b) des Flächenanteils der Dämmung
 unterer Diagrammbereich: U-Wert (durchgezogene Linie, orange) und Unsicherheit absolut (gestrichelt, grün und rot) / oberer Diagrammbereich (gepunktet, blau): relative Unsicherheit

(a) **Variation der Dämmstärke ($d_{\text{Insulation}}$)** Flächenanteil der Dämmung ($f_{\text{Insulation}}$) = 100%
 (b) **Variation des Flächenanteils der Dämmung ($f_{\text{Insulation}}$)** Dämmstärke ($d_{\text{Insulation}}$) = 24 cm



Eingangsvariablen: $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Baujahr Gebäude: 1925) / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
 / Art der Datenerhebung "InspectionOnSite"
 Unsicherheiten: originärer U-Wert $\pm 30\%$, Flächenanteil Dämmung $\pm 20\%$, Dämmstärke $\pm 2 \text{ cm}$ (unter 8cm: $\pm 25\%$),
 Wärmeleitfähigkeit Dämmung $\pm 15\%$

3.3 Der U-Wert von Fenstern

3.3.1 Indikatoren

Die Basis-Monitoring-Indikatoren für die Fenster (nach Energieprofil) umfassen die bei einer Befragung bzw. Begehung ermittelbaren und für die Abschätzung der energetischen Qualität relevanten Daten (siehe Fragebogen Bild 1):

- Einbaujahr der Fenster;
- Anzahl der Scheiben;
- Wärmeschutzverglasung (ja/nein);
- Art des Rahmens (Holz, Kunststoff, Alu/Stahl, Holz-Verbund).

Falls Passivhaus-Fenster (3-fach-Wärmeschutzverglasung mit gedämmtem Rahmen) vorliegen, kann dies zusätzlich vermerkt werden. Bei Bedarf kann ein zweiter Fenstertyp definiert werden, für den der geschätzte Flächenanteil an der gesamten Fensterfläche zusätzlich angegeben wird.

Auch wenn Angaben nicht vorliegen, soll es möglich sein, einen U-Wert für die Fenster in der Energiebilanzberechnung zu verwenden. Analog zu dem Modell für die opaken Bauteile soll dieser Wert dann den Mittelwert der Fenster im Bestand repräsentieren (eingeschränkt auf die Teilmenge, die durch ggf. vorliegende Daten definiert wird).

Liegen Angaben des Herstellers zum Fenster-U-Wert (Verglasung + Rahmen) vor, so können diese Zahlen zusätzlich zu den Merkmalen im Expertenteil des Energieprofil-Erfassungsbogens eingetragen werden.¹⁸

3.3.2 Pauschale U-Werte für Fenster

Für die Ermittlung pauschaler U-Werte für Fenster wurden zwei Quellen herangezogen:

- **Statistik der Bundesverbände der Fenster- und Glashersteller**
Vom Verband Fenster + Fassade / Bundesverband Flachglas e.V. wird eine detaillierte Statistik für die Produktion von Fenstern geführt, die zuletzt 2017 aktualisiert und veröffentlicht wurde [VFF / BF 2017]. Darin enthalten sind Jahressummen der Produktion von Fenstertypen differenziert nach Verglasungsart und Rahmenbauart. Die in [VFF / BF 2017] jahresbezogen angegebene Werte wurden im Rahmen der vorliegenden Studie in Baualtersklassen zusammengeführt und ausgewertet. Den Typenangaben zugeordnet sind U-Werte für Verglasung (U_g) und Rahmen (U_f) sowie zusätzliche Informationen zum längenbezogenen Wärmeverlustkoeffizient des Randverbunds. Bei Annahmen für die Fensterabmessungen konnten je Baualtersklasse die mittleren U-Werte der Fenster differenziert nach Bauart von Verglasung und Rahmen ermittelt werden.
- **Wohngebäudeerhebung Deutschland**
Als weitere Quelle für den durchschnittlichen bzw. typischen energetischen Zustand von Fenstern dient die 2016 im Wohngebäudebestand durchgeführte Stichprobenerhebung [Cischinsky / Diefenbach 2018]. Ein Vergleich der Statistik der Bundesverbände der Fenster- und Glashersteller mit diesen empirischen Daten zeigt eine gute Übereinstimmung.

¹⁸ Werden im Erfassungsbogen für Experten Werte für den Fenster-U-Wert eingetragen, erfolgt die Energiebilanzberechnung des EnergyProfile-Tools automatisch mit diesen U-Werten. Dennoch sollten immer auch die Merkmale eingetragen werden, damit diese statistisch auswertbar sind.

Tab. 7: Pauschale Fenster-U-Werte differenziert nach Anzahl der Scheiben, dem Vorhandensein von Wärmeschutzverglasung und dem Rahmen-Material (Verglasung, Rahmen und Randverbund / Herleitung siehe Anhang C.6)

Anzahl Schei- ben	Wärme- schutzver- glasung	Rahmenmate- rial	Einbaujahr								
			un- bekannt	... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
			U-Werte [W/(m²K)]								
*	*	*	2,4	3,7	3,7	3,0	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1
1	*	*	5,2	4,5	5,2	4,9	4,7	4,6	4,5	4,4	4,4
		Holz	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4
		Kunststoff	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,4	4,4
		Alu/Stahl	6,2	6,2	6,2	5,7	5,0	4,9	4,7	4,5	4,4
		Holz-Metall	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4
2	*	*	2,3	2,4	3,1	3,0	2,7	1,9	1,5	1,3	1,3
		Holz	2,3	2,4	2,4	2,7	2,6	1,8	1,5	1,4	1,3
		Kunststoff	2,1	2,6	2,6	2,8	2,6	1,8	1,4	1,3	1,3
		Alu/Stahl	2,9	4,1	4,1	3,8	3,0	2,2	1,7	1,4	1,3
		Holz-Metall	1,8	2,6	2,6	2,6	2,6	1,8	1,5	1,3	1,3
	Nein	*	2,9	2,4	3,1	3,0	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6
		Holz	2,6	2,4	2,4	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
		Kunststoff	2,7	2,6	2,6	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6
		Alu/Stahl	3,6	4,1	4,1	3,8	3,1	3,0	2,8	2,8	2,8
		Holz-Metall	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
	Ja	*	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,5	1,3	1,3
		Holz	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,4	1,3
		Kunststoff	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3
		Alu/Stahl	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,7	1,4	1,3
		Holz-Metall	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,3
3	*	*	1,1	1,7	2,3	2,2	2,0	1,3	1,2	1,0	1,0
		Holz	1,1	1,7	1,7	1,9	1,9	1,2	1,2	1,1	1,1
		Kunststoff	1,0	1,9	1,9	2,1	2,0	1,2	1,1	1,0	1,0
		Alu/Stahl	1,1	3,4	3,4	3,1	2,4	1,6	1,3	1,1	1,0
		Holz-Metall	1,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,2	1,2	1,0	1,0
	Nein	*	2,0	1,7	2,3	2,2	2,0	2,0	1,9	1,7	1,7
		Holz	1,8	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
		Kunststoff	1,9	1,9	1,9	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7
		Alu/Stahl	2,4	3,4	3,4	3,1	2,4	2,3	2,0	1,8	1,7
		Holz-Metall	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,7
	Ja	*	1,1	1,0	1,7	1,6	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0
		Holz	1,1	1,0	1,0	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
		Kunststoff	1,0	1,2	1,2	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
		Alu/Stahl	1,1	2,7	2,7	2,4	1,7	1,6	1,3	1,1	1,0
		Holz-Metall	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
		Passivhaus-Fen- ster	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

* = keine Angaben / unbekannt

Die aus der Statistik der Bundesverbände der Fenster- und Glashersteller abgeleiteten und mit der Wohngäudeerhebung Deutschland verglichenen pauschalen Fenster-U-Werte zeigt Tab. 7. Dabei wird bei den drei Kriterien Anzahl Scheiben, Vorhandensein von Wärmeschutzverglasung und Rahmenart jeweils auch der Fall betrachtet, dass die entsprechenden Informationen nicht vorliegen (angezeigt mit einem Stern "***"). Die genaue Herleitung der Zahlenwerte ist in Anhang C.6 dokumentiert. Die für die Übersetzung aus den Monitoring-Indikatoren notwendigen Rechenregeln finden sich in Anhang D.1.6.

Wie bei den opaken Bauteilen ist hier ebenfalls zu beachten, dass sich der auf die Heizzeit bezogene reale Transmissionswärmeverlust pro m² Fenster und pro K Lufttemperaturdifferenz gegenüber der normgerechneten Berechnung unterscheiden kann. Insbesondere können in der Praxis Minderungen des Wärmeübergangs außen und innen durch Vorhänge, Gardinen, Roll- oder Klappläden auftreten. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Pauschalwerte gegenüber den wirklichen Mittelwerten im Bestand systematisch verschoben sind – insbesondere bei älteren Fenstern mit höherem U-Wert.

3.3.3 Abschätzung der Unsicherheiten der Fenster-U-Werte

Für die Unsicherheit der Fenster-U-Werte wird abhängig von der Art der Datenquelle und der Angabe von Indikatoren die folgende Klassifizierung vorgenommen (siehe Tab. 56, Herleitung in Anhang C.6):

- Werden Planungswerte für neue Fenster (Neubau oder Modernisierung) direkt verwendet, so wird für die Unsicherheit der U-Werte die **Klasse "B"** angesetzt.
- Liegt darüber hinaus die U-Wert-Berechnung für jedes Fenster einzeln vor (in der Detailliertheit des Passivhaus-Projektierungspakets)¹⁹ und ist die Fenster-Qualität zertifiziert und der Einbau qualitätsgesichert, so wird die **Unsicherheitsklasse zu "A"**.
- Werden die aus der Vor-Ort-Datenaufnahme oder aus den Angaben des Gebäudeeigentümers oder einer Gebäudedatenbank stammenden Energieprofil-Indikatoren verwendet, so wird die Unsicherheit des U-Wertes bei vollständigen Angaben als **"C"** eingestuft.
- Eine Einstufung als **"D"** erfolgt, wenn bei Verwendung der Energieprofil-Indikatoren einer der folgenden Fälle auftritt:
 - (a) Fenster ohne Angabe des Einbaujahrs oder ohne Angabe der Anzahl der Scheiben;
 - (b) Fenster der Baualtersklasse 1969 ... 1978 mit Zwei-Scheiben-Verglasung, aber ohne Angabe des Rahmentyps;
 - (c) Fenster der Baualtersklasse 1995 ... 2001 ohne Information, ob Wärmeschutzverglasung vorliegt.
- Liegen gar keine Informationen zum Fenster vor oder liegen keine Informationen zur Baualtersklasse und zur Anzahl der Scheiben vor dann erfolgt eine Einstufung in **Klasse "E"**.

Der Fall (2) bei der Einstufung in Klasse „D“ begründet sich auf die vergleichsweise hohen Rahmen-U-Werte der in den 1970er Jahren noch verwendeten Stahl- und Alu-Rahmen ohne thermische Trennung und die damit bestehende große Variationsbreite, wenn das Rahmenmaterial unbekannt ist. Die im Fall (3) identifizierte Baualtersklasse kennzeichnet den Übergang zur Wärmeschutzverglasung – in diesem Sonderfall kann die Art der Verglasung nicht aus der Baualtersklasse abgeleitet werden, so dass bei Fehlen der Angabe „Wärmeschutzverglasung (ja/nein)“ eine größere Unsicherheit bezüglich des Fenster-U-Wertes besteht.

¹⁹ https://passiv.de/de/04_php/04_php.htm

Die Algorithmen für die Einstufung der Unsicherheit in Abhängigkeit von den vorliegenden Informationen sind durch die Rechenregeln im Anhang D.4.3 definiert.

Die Unsicherheiten der Planungswerte Klasse A basieren auf Expertenschätzung, für Klasse B wurde die U-Wert-Variationsbreite bei unbekannter Fenstergröße (und damit unbekanntem Rahmenanteil) zu Grunde gelegt. In die für die Klassen C bis E ermittelten Unsicherheiten floss ebenfalls die Variationsbreite von Fenstergrößen mit ein, zusätzlich aber auch die Variationsbreite bei den Fensterrahmen, Wärmeschutzverglasungstypen und Randverbundtypen – abhängig von den vorliegenden Informationen. Die Herleitung der Zahlenwerte für die Unsicherheiten ist in Anhang C.6.4 und C.6.5 dokumentiert. Tab. 56 gibt die für die 5 Klassen ermittelten Zahlenwerte für die relative Unsicherheit wieder.

Tab. 8: Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen und Quantifizierung der Unsicherheiten des U-Wertes von Fenstern (Herleitung siehe Anhang C.6.4 und C.6.5)

	Unsicherheitsklasse				
	A	B	C	D	E
Beschreibung	Planungswerte für neue Fenster, detaillierte U-Wert-Berechnung für jedes Fenster, durch Hersteller zertifizierte Fenster-Qualität, qualitätsgesicherter Einbau	Planungswerte für neue Fenster, U-Wert-Berechnung für ein Fenster mittlerer Größe	Vor-Ort-Datenaufnahme / Datensatz oder Angabe des Gebäudeeigentümers (mit Ausnahme der bei "D" genannten Fälle)	Vor-Ort-Datenaufnahme / Datensatz oder Angabe des Gebäudeeigentümers -> drei Sonderfälle: (a) Fenster ohne Angabe des Einbaujahrs oder ohne Angabe der Anzahl der Scheiben (b) Fenster mit Zweischeiben-Verglasung der Baualtersklasse 1969 ... 1978 ohne Angabe des Rahmentyps (c) Fenster der Baualtersklasse 1995 ... 2001 ohne Information, ob Wärmeschutzverglasung vorliegt	keine Angaben zum Fenster
relative Unsicherheit des Fenster-U-Wertes	5%	10%	15%	30%	50%

4 Illustration des Rechengangs an einem Beispielgebäude

4.1 Überblick

Im Folgenden werden die Haupt-Bögen für die Datenerfassung und die wichtigsten Blätter für die Berechnung am Beispiel eines Gebäudes aus der MOBASY-Sammlung dargestellt. Der vollständige Satz von Blättern zur Datenerfassung, zu den Programmeinstellungen und zur Berechnung findet sich bei der Erläuterung des Tools „EnergyProfile.xlsm“ im Anhang B.

Erfassungsbögen für die Energieprofil-Indikatoren

Die Erfassungsbögen umfassen zwei Blätter, mit denen der Zustand der Bau- und Anlagenteile erhoben wird (siehe allgemeine Beschreibung in Abschnitt 2.1) und ein Blatt für die Verbrauchsdaten (siehe Abschnitt 2.4):

Bild 15: Erfassungsbogen Gebäude (Energieprofil-Zustandsindikatoren)

Bild 16: Erfassungsbogen Anlagentechnik (Energieprofil-Zustandsindikatoren)

Bild 17: Erfassungsbogen Energieverbrauch (**Energieprofil-Verbrauchsindikatoren**)

Zusätzlich gibt es noch die Möglichkeit von Experteneingaben (z.B. zur Einordnung von Wärmebrücken, siehe Anhang B.3.2).

Demo-Rechenblätter Real-Bilanz (TABULA-Verfahren)

In den darauffolgenden Blättern kann der Berechnungsgang für das Beispielgebäude nachvollzogen werden. Die Energiebilanz entspricht dem TABULA-Verfahren [TABULA Calc Method 2013], die Unsicherheitsbetrachtungen für die Bedarfsberechnung sind in Abschnitt 2.5 (Details zu den Unsicherheiten der U-Werte in Abschnitt 3), die Ansätze für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich im Abschnitt 2.6 beschrieben. Alle flächenbezogenen Kennwerte beziehen sich auf die TABULA-Referenzfläche, also die beheizte Netto-Raumfläche, die durch Anwendung des pauschalen Faktor 1,1 aus der Wohnfläche ermittelt wird. Die Blätter finden sich im Rechenkern „tabula-calculator.xlsx“ des EnergyProfile-Excel-Tools. Es handelt sich um die folgenden Demo-Rechenblätter:²⁰

Bild 18: Energiebilanz Gebäude

Bild 19: Energiebilanz Wärmeversorgung

Bild 20: Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H+W“

Bild 21: Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H“

Bild 22: Ermittlung der Unsicherheit der U-Werte

Bild 23: Ermittlung der Unsicherheit

Energiebilanz-Diagramme

In den daran anschließenden Diagrammen sind die wichtigsten Ergebnisse für die Berechnung und den Verbrauch-Bedarf-Vergleich dargestellt:

Bild 24: Energiebilanz Heizwärme und Endenergie

Bild 25: Verbrauchswerte und Vergleichswerte Bedarf

Aufgaben für die Weiterentwicklung

- Es gibt noch kein Demo-Rechenblatt für die Veranschaulichung der Kalibrierung der Realbilanz auf das Klima des Verbrauchsjahrs und die Ermittlung von Vergleichswerten des Bedarfs. Die für die Analyse der Gebäudesammlung in Abschnitt 5 verwendete Rechengang ist in „tabula-calculator.xlsx“ natürlich umgesetzt (in Form der standardisierten zeilenweisen Berechnung).
- In den Demo-Rechenblätter „Calc.Demo.Metering“ fehlt noch die Darstellung der Unsicherheit der Bedarfsberechnung und die Einstufung als „unauffällig“ oder „auffällig“.

²⁰ Die Blätter dienen nur der Veranschaulichung. Die eigentliche Berechnung, deren Ergebnis dann auch in der Gebäudetabelle abgespeichert wird, findet in „tabula-calculator.xlsx“ zeilenweise statt.

4.2 Erfassungsbögen für die Energieprofil-Indikatoren

Bild 15: Erfassungsbogen Gebäude (Energieprofil-Zustandsindikatoren)

Energieprofil	Fragebogen Gebäude																																																																		
Gebäude-Einheit DE.MOBASY.NH.0015.01	Anzahl Häuser 1																																																																		
Variante Ist-Zustand	Anzahl Blöcke 1																																																																		
beheizte Wohnfläche 1536 m ²	Baujahr 1976																																																																		
Anzahl Wohnungen 22	Jahr des hier dargestellten Zustands 2018																																																																		
Anzahl Vollgeschosse 7	lichte Raumhöhe #NV																																																																		
(ohne Dach- und Kellergeschoss)	(Eintrag nur wenn < 2,30 m oder > 2,70 m)																																																																		
direkt angrenzende Nachbargebäude ☒ keins (freistehend)  ☐ auf einer Seite ☐ auf zwei Seiten ☐ keine Angabe / unbekannt 	Grundriss ☐ kompakt  ☐ normal  ☒ komplex / langgestreckt  ☐ keine Angabe / unbekannt 																																																																		
Dach ☒ Flachdach oder flach geneigtes Dach  ☐ Dachgeschoss unbeheizt  ☐ Dachgeschoss teilweise beheizt  ☐ Dachgeschoss voll beheizt  ☐ keine Angabe / unbekannt  ☐ Dachgauben oder andere Dachaufbauten vorhanden	Keller ☐ nicht unterkellert  ☒ Kellergeschoss unbeheizt  ☐ Kellergeschoss teilweise beheizt  ☐ Kellergeschoss voll beheizt  ☐ keine Angabe / unbekannt  ☒ Kellerboden und -wände gedämmt																																																																		
Thermische Hülle (nicht-transparente Elemente) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Konstruktionsart</th> <th colspan="5">Dämmung</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>massiv</th> <th>Holz</th> <th>keine</th> <th>original</th> <th>Modernisierung</th> <th>Jahr der Modernisierung</th> <th>Innendämmung der Wände</th> <th>Dämmstärke</th> <th></th> <th>% der Fläche</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dach</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>2010</td> <td></td> <td>10</td> <td>cm</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>oberste Geschossd.</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>#NV</td> <td></td> <td>#NV</td> <td>cm</td> <td>#NV</td> </tr> <tr> <td>Außenwände</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>2010</td> <td></td> <td>14</td> <td>cm</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Fußboden</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>#NV</td> <td></td> <td>0</td> <td>cm</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> bei ungedämmten Außenwänden: Dämmung von außen möglich? ☐ ja ☐ teilweise ☐ nein ☒ k.A. / unbekannt			Konstruktionsart		Dämmung									massiv	Holz	keine	original	Modernisierung	Jahr der Modernisierung	Innendämmung der Wände	Dämmstärke		% der Fläche	Dach	☒	☐	☐	☐	☒	2010		10	cm	100	oberste Geschossd.	☐	☐	☐	☐	☒	#NV		#NV	cm	#NV	Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	2010		14	cm	100	Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	#NV		0	cm	0
	Konstruktionsart		Dämmung																																																																
	massiv	Holz	keine	original	Modernisierung	Jahr der Modernisierung	Innendämmung der Wände	Dämmstärke		% der Fläche																																																									
Dach	☒	☐	☐	☐	☒	2010		10	cm	100																																																									
oberste Geschossd.	☐	☐	☐	☐	☒	#NV		#NV	cm	#NV																																																									
Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	2010		14	cm	100																																																									
Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	#NV		0	cm	0																																																									
Fenster <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2">% der Fensterfläche</th> <th colspan="4">Verglasung</th> <th colspan="5">Rahmen</th> <th rowspan="2">gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)</th> <th rowspan="2">Jahr des Fenstereinbaus (ca.):</th> </tr> <tr> <th>1 Scheibe</th> <th>2 Scheiben</th> <th>3 Scheiben</th> <th>keine Angaben / unbekannt</th> <th>Holzrahmen</th> <th>Kunststoffrahmen</th> <th>Alu- oder Stahlrahmen</th> <th>andere</th> <th>unbekannt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Haupttyp Fenster</td> <td></td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>1990</td> </tr> <tr> <td>weiterer Typ Fenster</td> <td>0 %</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>#NV</td> </tr> </tbody> </table> (Rest = Haupttyp Fenster) (U ≤ 0,8 W/(m²K))			% der Fensterfläche	Verglasung				Rahmen					gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):	1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere	unbekannt	Haupttyp Fenster		☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐		1990	weiterer Typ Fenster	0 %	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐		#NV																		
	% der Fensterfläche			Verglasung				Rahmen							gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):																																																			
		1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere	unbekannt																																																									
Haupttyp Fenster		☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐		1990																																																							
weiterer Typ Fenster	0 %	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐		#NV																																																							

2021-01-28 22:35

Bild 16: Erfassungsbogen Anlagentechnik (Energieprofil-Zustandsindikatoren)
(ausgegraute Kästchen: keine Angaben / unbekannt)

Energieprofil		Fragebogen Wärmeversorgung			
Gebäude Variante	DE.MOBASY.NH.0015.01 Ist-Zustand	Standort Wärmezeugung überwiegend ☐ Quartier/Stad ☐ Wohnung ☒ Block ☐ Raum ☐ Gebäude ☐ k.A.		Jahr der Nutzung für Installation (grob / geschätzt) Gesamtes System #NV Jahr	
Wärmeerzeugung - Zentralheizung Gebäude oder Wohnung		Wärmeerzeuger, die über ein Wärmeverteilsystem mehrere Räume mit Wärme versorgen			
☒ Kessel (Öl oder Gas)	Brennstoff ☒ Erdgas ☐ Heizöl ☐ Flüssiggas ☐ k.A.	Kesseltyp ☐ Konstanttemperatur ☒ Niedertemperatur ☐ Brennwert ☐ k.A.	☒	☒	#NV Jahr
☐ Holzkessel / Feststoffkessel	Brennstoff ☐ Scheitholz ☐ Holzpellets ☐ Holzhackschnittel ☐ Kohle ☒ k.A.		☐	☐	#NV Jahr
☐ Wärmepumpe	☐ zusätzlich direkt elektrisch Wärmequelle ☐ Außenluft ☐ Abluft ☐ Erdreich/Grundwasser ☐ Kellerluft ☒ k.A.		☐	☐	#NV Jahr
☐ Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)			☐	☐	#NV Jahr
☐ thermische Solaranlage			☐	☐	#NV Jahr
☐ Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	Brennstoff ☐ Erdgas ☐ Heizöl ☐ Bio ☐ andere ☒ k.A.		☐	☐	#NV Jahr
☐ Fern-/Nahwärme	Brennstoff ☐ fossil ☐ Biomasse	Wärmezeugung ☐ Heizwerk (Kessel) ☐ Heizkraftwerk / BHKW	☐	☐	#NV Jahr
Pufferspeicher für Heizung		Jahr der Installation		#NV	
☐ inklusive elektrischem Heizstab ☐ Heizungspufferspeicher innerhalb der thermischen Hülle		Jahr			
☒ Heizwärmeverteilung	☒ teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss) ☐ Nur mäßige oder unvollständige Leitungsdämmung ☐ Fußbodenheizung / niedrige Verteilnetztemperatur	Jahr		#NV	
Dezentrale / raumweise Heizung		Jahr		#NV	
☐ Einzelöfen ☐ Holz ☐ Gas ☐ Heizöl ☐ Kohle ☒ k.A.		Jahr		#NV	
☐ Elektro-Heizgeräte / Elektro-Öfen		Jahr		#NV	
☐ elektrische Nachtspeicherheizung		Jahr		#NV	
☐ elektrische Wärmepumpen (raumweise)		Jahr		#NV	
Extra-dicke Dämmung von Komponenten		Dämmstärke von Leitungen (doppelter Leitungsdurchmesser) und Speicher entsprechend Passivhaus-Empfehlungen			
☒ Warmwasserspeicher		Jahr der Installation		#NV	
☐ inklusive elektrischem Heizstab ☐ Warmwasserspeicher innerhalb der thermischen Hülle		Jahr			
☒ Warmwasserverteilung	☒ mit Zirkulationsleitung ☒ teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss) ☒ Nur mäßige oder unvollständige Leitungsdämmung	Jahr		#NV	
Dezentrale Warmwasserbereitung		Jahr		#NV	
☐ dezentrale elektrische Speicher		Jahr		#NV	
☐ Elektro-Durchlauferhitzer		Jahr		#NV	
☐ Gas-Durchlauferhitzer		Jahr		#NV	
Weitere Systeme		Jahr		#NV	
☐ Lüftungsanlage		Jahr		#NV	
☐ mit Wärmerückgewinnung		Jahr		#NV	
☐ Photovoltaik-Anlage (Solarstrom)		Jahr		#NV	
☐ mit Batterie-Speicher		Jahr		#NV	

Bild 17: Erfassungsbogen Energieverbrauch (Energieprofil-Verbrauchsindikatoren)

Energieprofil					Fragebogen Messwerte Verbrauch				
Gebäude		DE.MOBASY.NH.0015.01			beheizte Wohnfläche		1536 m ²		
Verbrauchsangabe		Messstelle			Gemessene Größe		Messstelle		
n für Fläche		M1	M2	M3			M1	M2	M3
		1472	1536	1536					
von	bis	M1	M2	M3					
1	31.12.2015	0	0	0					
2	01.01.2016	193202	58629	720,137					
3	01.01.2017	191770	56876	538,267					
4	01.01.2018	0	0	0					
5	01.01.2019	0	0	0					
6	01.01.2020	0	0	0					
7	01.01.2021	#NV	0	0					
8	#NV	0	0	0					
9	#NV	0	0	0					
10	#NV	0	0	0					
11	#NV	0	0	0					
12	#NV	0	0	0					
13	#NV	0	0	0					
14	#NV	0	0	0					
15	#NV	0	0	0					
16	#NV	0	0	0					
17	#NV	0	0	0					
18	#NV	0	0	0					
19	#NV	0	0	0					
20	#NV	0	0	0					
21	#NV	0	0	0					
22	#NV	0	0	0					
23	#NV	0	0	0					
24	#NV	0	0	0					
25	#NV	0	0	0					
26	#NV	0	0	0					
27	#NV	0	0	0					
28	#NV	0	0	0					
29	#NV	0	0	0					
30	#NV	0	0	0					
31	#NV	0	0	0					
32	#NV	0	0	0					
33	#NV	0	0	0					
34	#NV	0	0	0					
35	#NV	0	0	0					
36	#NV	0	0	0					
37	#NV	0	0	0					
38	#NV	0	0	0					
39	#NV	0	0	0					
40	#NV	0	0	0					
					Gemessene Größe Heizöl ☐ Erdgas ☐ Flüssiggas ☐ Holzpellets ☐ Scheitholz ☐ Kohle ☐ Strom ☐ Strom-Sondertarif ☐ Wärmemenge ☐ Warmwasser-Volumen ☐ andere: nicht belegt ☐				
					Angaben in: kWh* ☐ MWh* ☐ Liter (Abk. "l") ☐ m ³ , cbm (Kubikmeter) ☐ kg ☐ Tonnen ☐ Raummeter, Ster [1] ☐ Schüttkubikmeter [2] ☐ Festmeter ☐ andere:				
					*) Bei Angaben in kWh oder MWh (nur Brennstoffe): Bezug auf oberer Heizwert [3] ☐ unterer Heizwert ☐ unbekannt ☐ nicht anwendbar ☐				
					Verwendung für: Heizung ☐ Warmwasser ☐ Kühlung / Klimatisierung ☐ Lüftungsanlage (Strom) ☐ Pumpen, Regelung, etc. ☐ Haushaltsstrom ☐ Kochen ☐ andere ☐				
					Angaben zu Teilmessungen In M1 ist enthalten: ☐ In M2 ist enthalten: ☐ In M3 ist enthalten: ☐				
					Besonderheiten Messung in den Wohnungen (ohne Verteilverluste im ganzen Haus, bei MFH) ☐ Messung in separater Heizzentrale (inkl. Verteilverluste Erdreich) ☐				
					Erläuterungen [1] Raummeter, Ster: Stapelvolumen in m ³ [2] Schüttkubikmeter: Schüttvolumen in m ³ [3] oberer Heizwert = Brennwert				

2021-01-28 22:35

4.3 Demo-Rechenblätter Real-Bilanz (TABULA-Verfahren)

Bild 18: Energiebilanz Gebäude (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)

Energy Balance Calculation										Building Performance	
Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 13790 / seasonal method											
building	EnergyProfile.Query.Current (1976 ... 1976)					reference area	$A_{C,ref}$		1689,3 m ²		
climate	<DE.PC.01.63303>.<BT12>.<LTA.2001.2020> (-)					(conditioned floor area)					
construction element	original U-value (not considering effect of adjacent unheated spaces) $U_{original,i}$ W/(m ² K)	measure type	nominal insulation thickness $d_{insulation,i}$ mm	effective thermal conductivity $\lambda_{insulation,i}$ W/(m·K)	area fraction $f_{measure,i}$ %	actual U-value $U_{actual,i}$ W/(m ² K)	area (basis: external dimensions) $A_{env,i}$ m ²	adjustment factor soil $b_{tr,i}$	$H_{tr,i}$ W/K	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ $kWh/(m^2 \cdot a)$	
Roof 1	0,60	Add	100	0,040	100%	0,24	294,6	1,00	70,7	2,8	
Roof 2											
Wall 1	1,00	Add	140	0,035	100%	0,20	1534,9	1,00	307,0	12,3	
Wall 2											
Wall 3											
Floor 1	1,00					0,77	294,6	0,50	113,3	4,6	
Floor 2											
Window 1	2,70	Replace				2,70	285,7	1,00	771,3	31,0	
Window 2											
Door 1	2,70	Replace				2,70	18,4	1,00	49,7	2,0	
thermal bridging: surcharge on the U-values						ΔU_{tb}	$\Sigma A_{env,i}$		$H_{tr,tb}$		
						0,05	2428,2	1,00	121,4	4,9	
						related to: envelope area		reference area			
						0,59		0,85			
Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}								sum		1433	
										57,6	
Heat transfer coefficient by ventilation H_{ve}											
volume-specific heat capacity air $C_{p,air}$ Wh/(m ³ K)						air change rate by use $n_{air,use}$ 1/h		air change rate by infiltration $n_{air,infiltration}$ 1/h		room height (standard value) h_{room} m	
0,34						x (0,40 + 0,10)		x 1689,3		x 2,50 = 718	
internal temp. external temp. heating days											
θ_i °C						θ_e °C		d_{hs} d/a			
(21,6 - 5,4)						x 189		= 3072			
accumulated differences between internal and external temperature											
H_{tr} W/K						H_{ve} W/K		temperature reduction factor F_{red} (for $\theta_{in} = W/(m^2K)$)			
1433						718		x 0,024 kWh/a			
Total heat transfer Q_{ht}						(1433 + 718)		x 0,92		x 73,7 = 146029	
reduction factors											
window orientation	external shading F_{sh}	frame area fraction F_F	non-perpendicular F_W	solar energy transmittance $g_{gl,n}$	window area $A_{window,i}$ m ²	solar global radiation $I_{sol,i}$ kWh/(m ² a)					
1. Horizontal	0,80	x (1 - 0,30)	x 0,90	x 0,76	x 318	=				0,0	
2. East	0,60	x (1 - 0,30)	x 0,90	x 0,76	x 142,8	=		7006		4,1	
3. South	0,60	x (1 - 0,30)	x 0,90	x 0,76	x 329	=				0,0	
4. West	0,60	x (1 - 0,30)	x 0,90	x 0,76	x 142,8	=		9619		5,7	
5. North	0,60	x (1 - 0,30)	x 0,90	x 0,76	x 118	=				0,0	
Solar heat load during heating season Q_{sol}						sum		16625		9,8	
internal heat sources											
internal heat capacity per m ² $A_{C,ref}$ c_m						heating days d_{hs} d/a		$A_{C,ref}$ m ²			
90						x 3,10		x 1689,3		= 23804	
Internal heat sources Q_{int}						0,024				14,1	
internal heat capacity per m ² $A_{C,ref}$ c_m											
90											
time constant of the building $\tau = \frac{c_m \cdot A_{C,ref}}{H_{tr} + H_{ve}}$						h					
71											
parameter $a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$						3,16					
heat balance ratio for the heating mode $\gamma_{h,gn} = \frac{Q_{sol} + Q_{int}}{Q_{ht}}$						0,277					
gain utilisation factor for heating $\eta_{h,gn} = \frac{1 - \gamma_{h,gn}}{1 - \gamma_{h,gn} + 1}$						0,99					
Energy need for heating $Q_{H,nd}$						$Q_{ht} - \eta_{h,gn} \times (Q_{sol} + Q_{int})$		106110		62,8	

Version: 2020-04-01

Bild 19: Energiebilanz Wärmeversorgung (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)



Energy Balance Calculation

System Performance

Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 15316 / level B (tabled values)

$A_{C,ref}$

1689,3 m²

building code EnergyProfile.Query.Current

system code

Domestic Hot Water System

energy need hot water $q_{nd,w}$ 15,0

+ losses distrib. DE.C_Circ_Ext.MUH.14 $q_{d,w}$ 6,4

+ losses storage DE.S_C_Ext.MUH.12 $q_{s,w}$ 1,0

$q_{g,w,out} = q_{nd,w} + q_{d,w} + q_{s,w}$ 22,4 kWh/(m²a)

thereof recoverable for space heating:

$q_{d,w,h}$ 2,9

$q_{s,w,h}$ 0,0

$q_{w,h} = q_{d,w,h} + q_{s,w,h}$ 2,9 kWh/(m²a)

energyware for domestic hot water		heat generator	expenditure factor	delivered energy	combined heat and power
code	code	$\alpha_{nd,w,i}$	$q_{g,w,out}$	$e_{g,w,i}$	$q_{del,w,i}$
1	Gas	DE.B_NC_LT.MUH.11	100%	x	22,4
2	-	-	0%	x	0,0
3	-	-	0%	x	0,0

related to gross kWh/(m²a) cabrific value

auxiliary energy $q_{del,w,aux}$ 0,8 kWh/(m²a)

Heating System

energy need space heating $q_{nd,h}$ 62,8 kWh/(m²a)

- usable contribution of hot water system $\eta_{h,gn} \cdot q_{w,h}$ 2,9 kWh/(m²a)

- usable contrib. of vent. heat recovery $\eta_{h,gn} \cdot q_{ve,h,rec}$ 0,0 kWh/(m²a)

+ losses distribution and heat emission DE.C_Ext.MUH.14 $q_{d,h}$ 5,7 kWh/(m²a)

+ losses storage - $q_{s,h}$ 0,0 kWh/(m²a)

$q_{g,h,out} = q_{nd,h} - q_{w,h} - q_{ve,h,rec} + q_{d,h} + q_{s,h}$ 65,6 kWh/(m²a)

gain utilisation factor (heating contributions from DHW and vent. system) $\eta_{h,gn} = \frac{1 - \gamma_{AH}}{1 - \gamma_{AH} + 1}$ 1,00

building parameter a_H 3,16

gain/loss ratio $\gamma_{h,gn} = \frac{q_{w,h} + q_{ve,h,rec}}{q_{nd,h}}$ 0,05

ventilation heat recovery $f_{air,mech} \cdot \eta_{ve,rec} \cdot q_{ht,ve}$ 0,0 x 0% x 28,8 kWh/(m²a)

mechanical fraction of air change rate $\min(\eta_{air,mech}, \eta_{air,use})$ 0,00

energyware for space heating		heat generator	expenditure factor	delivered energy	combined heat and power
code	code	$\alpha_{nd,h,i}$	$q_{g,h,out}$	$e_{g,h,i}$	$q_{del,h,i}$
1	Gas	DE.B_NC_LT.MUH.11	100%	x	65,6
2	-	-	0%	x	0,0
3	-	-	0%	x	0,0

related to gross kWh/(m²a) cabrific value

auxiliary energy $q_{del,h,aux}$ 0,5 kWh/(m²a)

heating system code DE.C.MUH.11

ventilation system code DE.-.Gen.11

for information: net energy need for heating $q_{nd,h,net} = q_{nd,h} - \eta_{h,gn} \cdot q_{ve,h,rec}$ 62,8 kWh/(m²a)

Electricity Production

PV module area peak power rated PV capacity (without frame) coefficient ("peak power")

calculation according to EN 15316-4-6 "Photovoltaic Systems"

code	$A_{pv,system}$	$K_{pv,p}$	$P_{pv,p}$
	0,0	x	0,15
	0,0	x	0,15
Sum	0,0		0,0

ratio of annual electricity output to rated "peak power" PV capacity

$q_{prod,el,pv}$	$P_{pv,p}$	$q_{prod,el,pv}$
0	x	0,0
0	x	0,0
0		0,0

annual electricity produced by PV panels $q_{prod,el,pv}$ 0,0 kWh/a

electricity prod. PV system per m² ref. $q_{el,pv}^{area}$ 0,0 kWh/(m²a)

Total electricity production $q_{prod,el} = \sum_i q_{prod,el,w,i} + \sum_i q_{prod,el,h,i} + q_{prod,el,pv}$ 0,0 kWh/(m²a)

Version: 2020-04-01

Bild 20: Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H+W“ (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)



Metered Consumption

Comparison to Calculation

Building

code

conditioned floor area
 m²

Comparison Scope

from

to

Number of years

H+W

Relevant Metering

Code of the metering	Metered quantity	Conditioned floor area m ²	Utilisation	Metered energy		Consideration factor
				all balance years kWh	average year kWh/a	
M1 <EnergyProfile.Query.Current>.<M1>	Gas	1472,0	-H-W-	191770	191770	100%
M2 <EnergyProfile.Query.Current>.<M2>	Heat	1535,7	-W-	56876	56876	
M3 <EnergyProfile.Query.Current>.<M3>	Water_DHW	1535,7	-W-	25040	25040	

Annual metered consumption to be considered (comparison value)

kWh/a kWh/(m²a)

Comparison with Energy Balance Calculation

A_{C,ref}
 m²

DHW

	kWh/(m ² a)	Consideration factor
Net energy need	15,0	
Effective net energy need (considering heat recoveries)		
Heat losses storage	1,0	
Heat losses distribution	6,4	
Gross heat demand	22,4	

Space heating

Calculation	Climate adjusted	Consideration factor
62,8	63,3	
59,9	60,4	
0,0	0,0	
5,7	5,7	
65,6	66,1	

Climate adjustment factors

Heating degree days	1,01
Solar radiation	1,04

Effect of climate adjustment

Energy Carrier	Gas	-	-	El.Prod	El.Aux
Fraction of produced heat	100%	0%	0%		
Produced heat	22,4	0,0	0,0		
Consideration factor					
Delivered energy	26,9	0,0	0,0	0,0	0,8
Consideration factor	100%				

Energy Carrier	Gas	-	-	El.Prod	El.Aux
Fraction of produced heat	100%	0%	0%		
Produced heat	66,1	0,0	0,0		
Consideration factor					
Delivered energy	78,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Consideration factor	100%				

Annual calculated demand to be considered (comparison value)

	Applicable for DHW	Applicable for Space heating
Heat demand	0,0 kWh/(m ² a)	0,0 kWh/(m ² a)
Heat generation	0,0 kWh/(m ² a)	0,0 kWh/(m ² a)
Energy carrier	26,9 kWh/(m ² a)	78,0 kWh/(m ² a)

Comparison value
 Sum of applicable values
 kWh/a kWh/(m²a)

Comparison
 [kWh/(m²a)] 0 20 40 60 80 100 120
 metered
 calculated

Relation metered to calculated

Comment / Explanation

Bild 21: Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H“ (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)



Metered Consumption

Comparison to Calculation

Building code

conditioned floor area $A_{C,ref}$
 m²

Comparison Scope

from

to

Number of years

Relevant Metering

Code of the metering	Metered quantity	Conditioned floor area m ²	Utilisation	Metered energy		Consideration factor
				all balance years kWh	average year kWh/a	
M1 <EnergyProfile.Query.Current>.<M1>	Gas	1472,0	-H-W-	191770	191770	100%
M2 <EnergyProfile.Query.Current>.<M2>	Heat	1535,7	-W-	56876	56876	-100%
M3 <EnergyProfile.Query.Current>.<M3>	Water_DHW	1535,7	-W-	25040	25040	

Annual metered consumption to be considered (comparison value)

134894

kWh/a kWh/(m²a)
79,9

Comparison with Energy Balance Calculation

$A_{C,ref}$
 m²

DHW

	kWh/(m ² a)	Consideration factor
Net energy need	15,0	
Effective net energy need (considering heat recoveries)		
Heat losses storage	1,0	
Heat losses distribution	6,4	
Gross heat demand	22,4	

Space heating

Calculation	Climate adjusted	Consideration factor
62,8	63,3	
59,9	60,4	
0,0	0,0	
5,7	5,7	
65,6	66,1	

Energy Carrier	Gas	-	-	El.Prod	El.Aux
Fraction of produced heat	100%	0%	0%		
Produced heat	22,4	0,0	0,0		
Consideration factor					
Delivered energy	26,9	0,0	0,0	0,0	0,8
Consideration factor					

Energy Carrier	Gas	-	-	El.Prod	El.Aux
Fraction of produced heat	100%	0%	0%		
Produced heat	66,1	0,0	0,0		
Consideration factor					
Delivered energy	78,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Consideration factor	100%				

Annual calculated demand to be considered (comparison value)

	Applicable for DHW	Applicable for Space heating	Comparison value
Heat demand	0,0 kWh/(m ² a)	0,0 kWh/(m ² a)	Sum of applicable values kWh/a kWh/(m ² a) 131820 78,0
Heat generation	0,0 kWh/(m ² a)	0,0 kWh/(m ² a)	
Energy carrier	0,0 kWh/(m ² a)	78,0 kWh/(m ² a)	

Comparison

[kWh/(m²a)]

0102030405060708090

metered

calculated

Relation metered to calculated

1,02

Comment / Explanation

Version: 2020-04-01

57

Bild 22: Ermittlung der Unsicherheit der U-Werte opaker Konstruktionen

TABULA				Estimation of the Uncertainty				U-value Constructions																	
Thermal envelope area estimation according to TABULA method																									
Building		DE.MOBASY.NH.0015.01				Reference area		Ac,ref		1689,3 m²															
Uncertainty of U-values (opaque constructions)										Quantity		Unit		Value		Uncertainty		Sensitivity of U-value to change of quantity		Resulting uncertainty of effective U-value		Relevance of quantity for total uncertainty			
																Category									
																absolute		relative							
Roof 1										Surface area		295 m²								W/(m²K)					
U-value original construction										Uo,r		W/(m²K)		0,60		D +/- 0,18		+/- 30%		0,160		+/- 0,029		39%	
Area fraction with insulation										fins		-		1,00		C +/- 0,00		+/- 0%		-0,360		+/- 0,000		0%	
Insulation thickness										dins		m		0,10		C +/- 0,02		+/- 20%		-1,440		+/- 0,029		39%	
Thermal conductivity of insulation										λins		W/(m·K)		0,040		C +/- 0,006		+/- 15%		3,600		+/- 0,022		22%	
Resulting U-value										Insulated part		Effective U-Value		0,24						Uncertainty		+/- 0,05		+/- 19% (100%)	
												W/(m²K)		0,24											
Roof 2										Surface area		0 m²								W/(m²K)					
U-value original construction										Uo,r		W/(m²K)		0,77		D +/- 0,23		+/- 30%		0,437		+/- 0,101		19%	
Area fraction with insulation										fins		-		0,62		E +/- 0,38		+/- 61%		-0,537		+/- 0,204		76%	
Insulation thickness										dins		m		0,12		E +/- 0,06		+/- 50%		-0,838		+/- 0,050		5%	
Thermal conductivity of insulation										λins		W/(m·K)		0,040		C +/- 0,006		+/- 15%		2,515		+/- 0,015		3%	
Resulting U-value										Insulated part		Effective U-Value		0,23						Uncertainty		+/- 0,23		+/- 53% (100%)	
												W/(m²K)		0,44											
Wall 1										Surface area		1535 m²								W/(m²K)					
U-value original construction										Uo,r		W/(m²K)		1,00		D +/- 0,30		+/- 30%		0,040		+/- 0,012		12%	
Area fraction with insulation										fins		-		1,00		C +/- 0,00		+/- 0%		-0,800		+/- 0,000		0%	
Insulation thickness										dins		m		0,14		C +/- 0,02		+/- 14%		-1,143		+/- 0,023		42%	
Thermal conductivity of insulation										λins		W/(m·K)		0,035		C +/- 0,005		+/- 15%		4,571		+/- 0,024		46%	
Resulting U-value										Insulated part		Effective U-Value		0,20						Uncertainty		+/- 0,04		+/- 18% (100%)	
												W/(m²K)		0,20											
Wall 2										Surface area		0 m²								W/(m²K)					
U-value original construction										Uo,r		W/(m²K)		1,00		D +/- 0,30		+/- 30%		0,040		+/- 0,012		12%	
Area fraction with insulation										fins		-		1,00		C +/- 0,00		+/- 0%		-0,800		+/- 0,000		0%	
Insulation thickness										dins		m		0,14		C +/- 0,02		+/- 14%		-1,143		+/- 0,023		42%	
Thermal conductivity of insulation										λins		W/(m·K)		0,035		C +/- 0,005		+/- 15%		4,571		+/- 0,024		46%	
Resulting U-value										Insulated part		Effective U-Value		0,20						Uncertainty		+/- 0,04		+/- 18% (100%)	
												W/(m²K)		0,20											
Wall 3										Surface area		0 m²								W/(m²K)					
U-value original construction										Uo,r		W/(m²K)		1,00		D +/- 0,30		+/- 30%		0,040		+/- 0,012		12%	
Area fraction with insulation										fins		-		1,00		C +/- 0,00		+/- 0%		-0,800		+/- 0,000		0%	
Insulation thickness										dins		m		0,14		C +/- 0,02		+/- 14%		-1,143		+/- 0,023		42%	
Thermal conductivity of insulation										λins		W/(m·K)		0,035		C +/- 0,005		+/- 15%		4,571		+/- 0,024		46%	
Resulting U-value										Insulated part		Effective U-Value		0,20						Uncertainty		+/- 0,04		+/- 18% (100%)	
												W/(m²K)		0,20											
Floor 1										Surface area		295 m²								W/(m²K)					
U-value original construction										Uo,r		W/(m²K)		0,77		D +/- 0,23		+/- 30%		1,000		+/- 0,231		100%	
Area fraction with insulation										fins		-				C +/- 0,00		+/- 0%		0,000		+/- 0,000		0%	
Insulation thickness										dins		m				C +/- 0,00		+/- 0%		0,000		+/- 0,000		0%	
Thermal conductivity of insulation										λins		W/(m·K)		0,040		C +/- 0,006		+/- 15%		0,000		+/- 0,000		0%	
Resulting U-value										Insulated part		Effective U-Value		0,77						Uncertainty		+/- 0,23		+/- 30% (100%)	
												W/(m²K)		0,77											
Floor 2										Surface area		0 m²								W/(m²K)					
U-value original construction										Uo,r		W/(m²K)		1,00		D +/- 0,30		+/- 30%		1,000		+/- 0,300		100%	
Area fraction with insulation										fins		-				C +/- 0,00		+/- 0%		0,000		+/- 0,000		0%	
Insulation thickness										dins		m				C +/- 0,00		+/- 0%		0,000		+/- 0,000		0%	
Thermal conductivity of insulation										λins		W/(m·K)		0,040		C +/- 0,006		+/- 15%		0,000		+/- 0,000		0%	
Resulting U-value										Insulated part		Effective U-Value		1,00						Uncertainty		+/- 0,30		+/- 30% (100%)	
												W/(m²K)		1,00											

Version: 2020-04-01

Bild 23: Ermittlung der Unsicherheit des Endenergiebedarfs
(Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)



Estimation of the Uncertainty

building DE.MOBASY.NH.0015.01

reference area A_{C,ref} 1689,3 m²

Number of dwellings 22
 Reduction factor multi-dwelling 0,21

Energy expenditure factors

	EC 1	EC 2	EC 3	Sum delivered energy	net heat need	Simplified energy expenditure factor (not differentiated by energy carrier)
Space heating	Gas	-	-	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
	77,4	0,0	0,0	kWh/(m ²) 77,4	: 59,9	= 1,29
DHW	Gas	-	-	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
	26,9	0,0	0,0	kWh/(m ²) 26,9	: 15,0	= 1,79

Quantity	Value	Uncertainty of respective quantity		Reduction factor multi-dwelling	Relevant heat or energy flow*	Sensitivity of heat flow to change of quantity	Energy expenditure factor	Uncertainty of relevant heat or energy flow*	Relevance for total uncertainty
		Category	relative absolute						
Building heat losses									
Envelope area	A _{env, calc}	2428	B +/- 10%		57,6	0,02	1,00	+/- 5,8	16,1%
Thermal transmittance	U _{eff, j}	W/(m ² K)				1 W/(m ² K)		kWh/(m ² a)	
Roof 1	0,24		+/- 19%		2,8	11,8	1,00	+/- 0,5	0,1%
Roof 2	0,44				1,0		1,00		
Wall 1	0,20		+/- 18%		12,3	61,7	1,00	+/- 2,2	2,3%
Wall 2	0,20				1,0		1,00		
Wall 3	0,20				1,0		1,00		
Floor 1	0,38		+/- 30%		4,6	11,8	1,00	+/- 1,4	0,9%
Floor 2	1,00				1,0		1,00		
Window 1	2,70		+/- 15%		31,0	11,5	1,00	+/- 4,6	10,5%
Window 2					1,0		1,00		
Door 1	2,70		+/- 15%		2,0	0,7	1,00	+/- 0,3	0,0%
Thermal bridging	ΔU _{eff, th bridge}	W/(m ² K)			57,6	97,6	1,00	+/- 4,9	11,6%
Relative uncertainty related to									
Air exchange (heat not recovered)	n _{air, heat loss}	1/h	+/- 63%		28,8	72,1	1,00	+/- 3,8	7,2%
Relative uncertainty related to									
Internal temperature	θ _i	21,6	+/- 12%		86,4	5,3	1,00	+/- 2,3	2,5%
Relative uncertainty related to									
External temperatures	F _{HDD}	74	B +/- 10%		86,4	1,2	1,00	+/- 8,6	36,4%
Building heat gains									
Solar heat gains	A _{ap, equivalent S}	51	D +/- 50%		9,8	0,19	1,00	+/- 4,9	11,8%
Equivalent South aperture									
Solar radiation	I _{sol, hp}	329,0	B +/- 10%		9,8	0,03	1,00	+/- 1,0	0,5%
Internal heat load	q _{hl}	3,10	D +/- 50%		3,1	1,0	1,00	+/- 0,3	0,1%
Total uncertainty energy need for heating									
	q _{h, nd}	63						+/- 14	(100%)
Domestic hot water (DHW) - heat need									
DHW heat need	q _{hw, nd}	15,0	D +/- 50%		15,0	1,0	1,00	+/- 1,6	
Total uncertainty DHW heat need									
		15						+/- 2	
Delivered energy (building + heat supply system)									
Space heating	q _{h, nd}	63						+/- 18,5	95,8%
Heat need for heating									
Ventilation with heat recovery (considered as part of the heat supply system)									
Heat recovery	η _{ve, rec}	0%	B +/- 20%		0,0	0	1,29	+/- 0,0	0,0%
Heat supply system									
Energy expenditure factor	e _{sys, h}	1,29	B +/- 5%		77,4	59,9	1,00	+/- 3,9	4,2%
Total uncertainty delivered energy for space heating (building + heat supply system)									
								+/- 19	(100%)
Domestic hot water (DHW)									
DHW heat need	q _{hw, nd}							+/- 2,9	53,2%
Energy expenditure factor	e _{sys, w}	1,79	C +/- 10%		26,9	+15,0	1,00	+/- 2,7	46,8%
Total uncertainty delivered energy for DHW (heat need + heat supply system)									
								+/- 4	(100%)
Delivered energy for space heating and DHW									
		104,3							
Total uncertainty delivered energy for space heating and DHW									
								+/- 19	(100%)

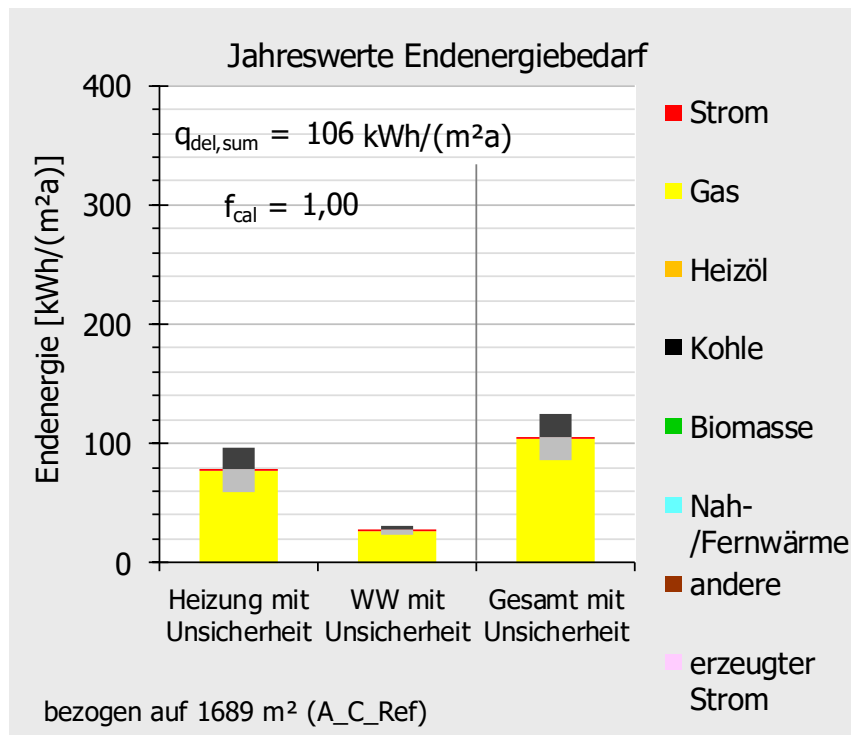
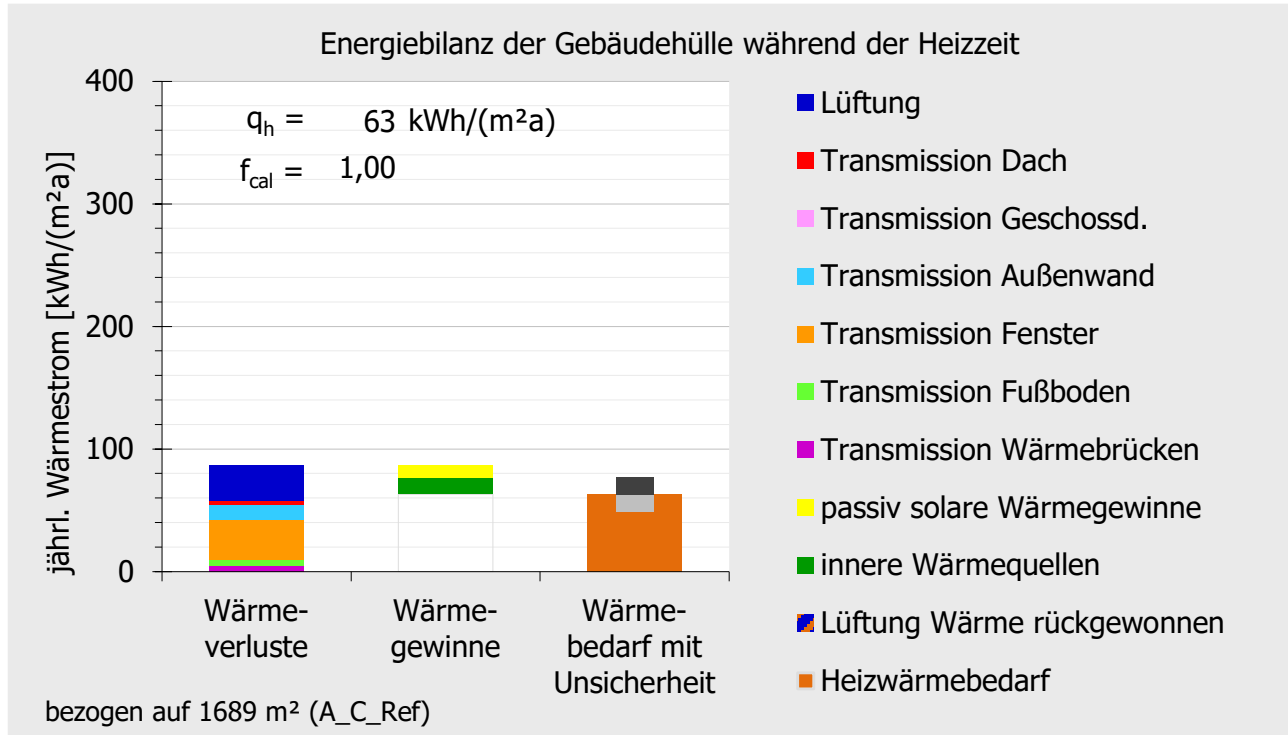
*) Simplified linear approach Simplified uncertainty estimation for delivered energy related to reference area (conditioned floor area)

Version: 2020-04-01

59

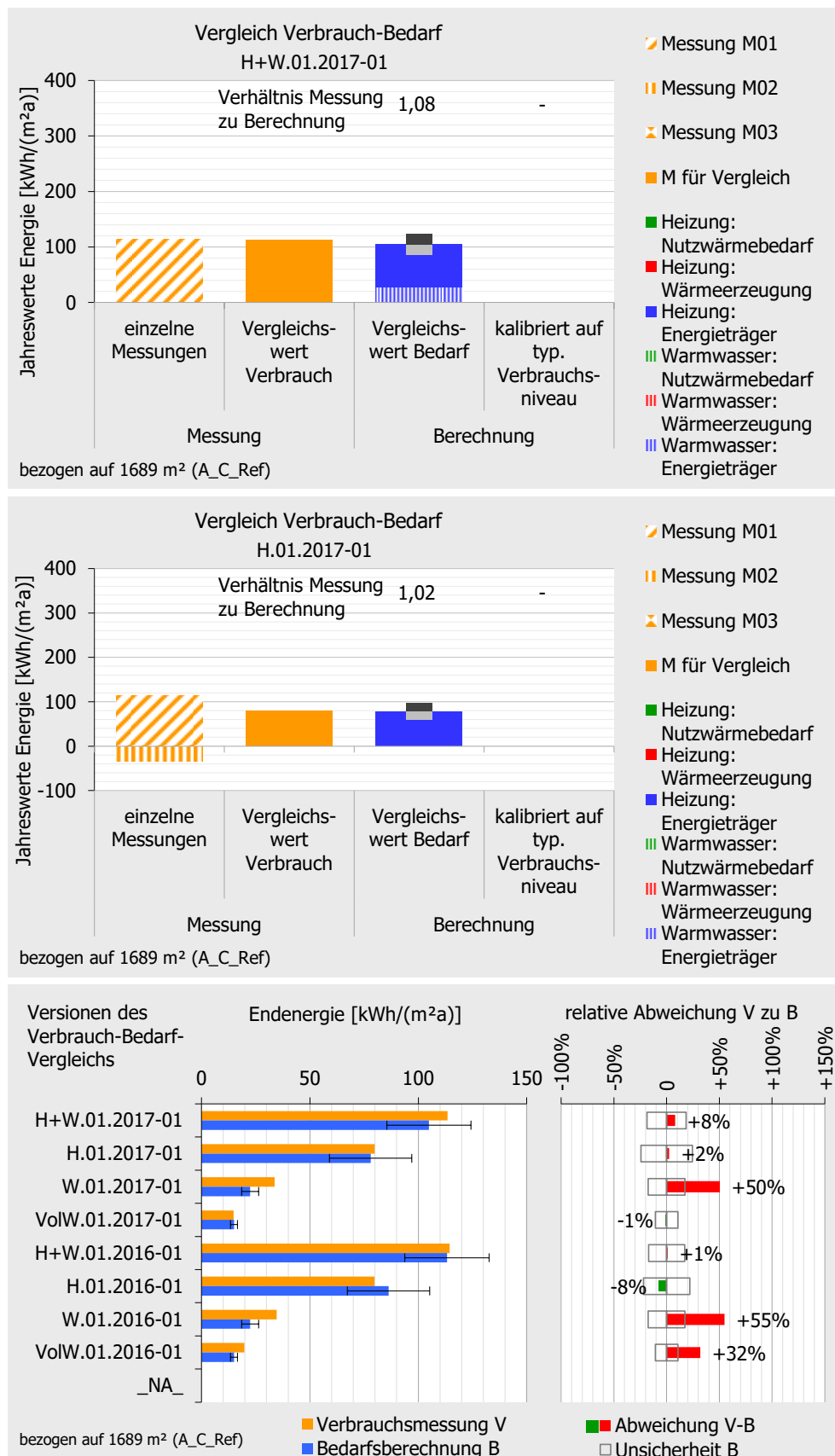
4.4 Energiebilanz-Diagramme

Bild 24: Energiebilanz Heizwärme und Endenergie
(Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)



	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Wärmebedarf	
Heizung	63 ± 14
Rückgew.	
Netto-Wärme	63 ± 14
Warmwasser	15 ± 2
Endenergiebedarf	
Strom	1 ± 0
Gas	104 ± 19
Heizöl	
Kohle	
Biomasse	
Nah-/Fernw.	
andere	
Gesamt	106 ± 19

Bild 25: Verbrauchswerte und Vergleichswerte Bedarf
(Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)



5 Anwendung auf die MOBASY-Gebäude-Sammlung

5.1 Energieverbrauch und Energiebedarf der betrachteten Gebäude

Das in den vorangegangenen Abschnitten beschriebene Verfahren für das Verbrauchscontrolling wird im Rahmen des MOBASY-Projekts für eine Sammlung von Gebäuden aus drei Wohnungsunternehmen umgesetzt. Es handelt sich um eine Auswahl in den letzten Jahren modernisierter oder neu errichteter Gebäude, deren Energieverbrauch analysiert und im Vergleich mit dem Energiebedarf überprüft werden soll. Die Monitoring-Indikatoren und Verbrauchsdaten aller Gebäude wurden in einer gemeinsamen Tabelle zusammengeführt (Beschreibung der Monitoring-Tabelle siehe Abschnitt 2.1). Die Gebäude-Sammlung umfasst derzeit 129 Datensätze für insgesamt 299 Häuser, in denen sich 2916 Wohnungen befinden (siehe Tab. 9).

Tab. 9: Übersicht über die Datensätze der MOBASY-Gebäude-Sammlung

Kürzel	Wohnungsunternehmen	Daten-sätze	Gebäude-blöcke	Häuser*	Wohnungen	Wohnfläche
BV	bauverein AG	53	63	156	1376	91.307 m ²
WBG	Wohnbau Gießen	35	35	58	718	47.041 m ²
NHW	Nassauische Heimstätte Wohnstadt	41	41	85	822	53.735 m ²
Gesamt		129	139	299	2916	192.083 m²

*) identifiziert durch Hauseingänge mit eigener Adresse (Hausnummer)

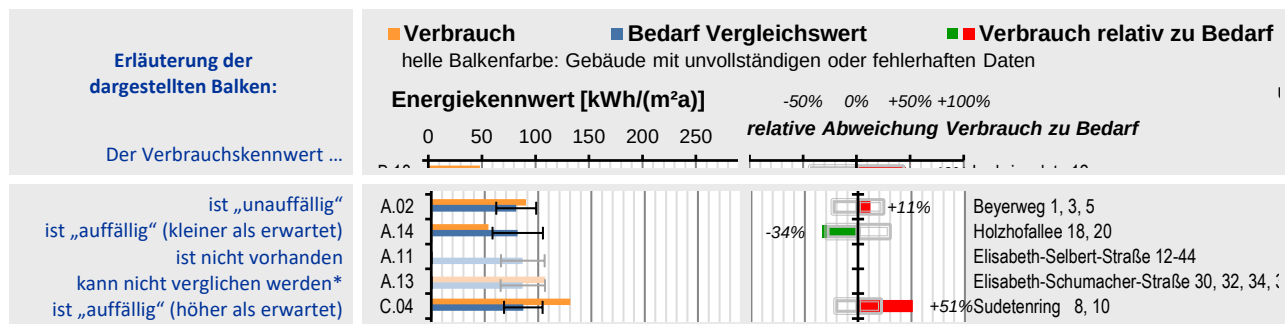
Auf Basis der in der Gebäude-Tabelle enthaltenen Grund- und Zustandsdaten (Energieprofil-Daten) wurden für alle Objekte Realbilanzierungen entsprechend dem in Abschnitt 1.3 dokumentierten Vorgehen durchgeführt. Im ersten Schritt wurden dabei Energiebedarfskennwerte für das am Standort herrschende mittlere Klima ermittelt und diese in einem zweiten Schritt für den Vergleich mit den jahresbezogenen Verbrauchsdaten auf das Klima des Verbrauchsjahrs kalibriert und gemäß Bilanzraum zugeschnitten (siehe Abschnitt 2.6).

Die Verbrauchskennwerte und die aus der Berechnung auf der gleichen Bilanzenebene entnommenen Vergleichskennwerte sind für die Einzelgebäude in Bild 27 für Heizung und Warmwasser und in Bild 28 nur für Heizung dargestellt. In Bild 26 findet sich eine Erläuterung der Balken an Hand von Beispielen. In den Verbrauch-Bedarf-Diagrammen wird die gemäß der in Abschnitt 2.5 beschriebenen Methodik ermittelte Unsicherheit der Bedarfskennwerte durch zusätzliche Fehlerbalken angezeigt – als flächenbezogene Absolutwerte (bei den Energiekennwerten, links im Diagramm, schwarze Linien mit Endmarkierungen) und als prozentuale Werte (rechts im Diagramm, graue Rechteck-Rahmen). Bei den prozentualen Angaben zusätzlich eingetragen wird die Abweichung des gemessenen Verbrauchskennwertes vom berechneten Bedarfskennwert: Grüne Balken signalisieren einen gegenüber dem Vergleichswert geringeren Verbrauch, rote Balken einen höheren Verbrauch. Ist die relative Abweichung größer als die Unsicherheit der Bedarfsberechnung, so gehen die farbigen Balken über die durch Rahmen angedeuteten Unsicherheiten hinaus. Bei der vorliegenden

Analyse werden die so identifizierten Gebäude als „auffällig“ angesehen und sollen damit einer näheren Untersuchung unterzogen werden.²¹

Für einige Gebäude der Sammlung fehlen noch für die Bedarfsberechnung oder für die Kategorisierung bzw. Einordnung des Energieverbrauchs wichtige Informationen, so dass hier noch kein sinnvoller Verbrauch-Bedarf-Vergleich möglich ist. Die entsprechenden Balken im Energiekennwerte-Diagramm haben einen helleren Farbton. Sobald die fehlenden Informationen verfügbar sind, werden diese Gebäude beim Verbrauch-Bedarf-Vergleich mitberücksichtigt.

Bild 26: Beispielhafte Erläuterung der Einordnung der Einzelgebäude-Ergebnisse (Bild 27 / Bild 28)



*) Die Bilanzierung ist möglich, es fehlen aber noch für das Verbrauchscontrolling wichtige Informationen.

Bild 27: (nächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H+W“ – Heizung & Warmwasser aufsteigend sortiert nach Bedarf (Vergleichswert)

Bild 28: (übernächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H“ – nur Heizung aufsteigend sortiert nach Bedarf (Vergleichswert)

Verbrauch 2017 bzw. 2018 (je nach Verfügbarkeit)

- Bedarfsberechnung für die Gebäudestandorte, kalibriert auf das jeweilige Jahresklima
 - Energiekennwerte in diesen Diagrammen bezogen auf die Wohnfläche
 - für Gebäude mit Datenlücken oder -unklarheiten sind die Balken hell hinterlegt
- (Arbeitsstand Dezember 2020)

²¹ Der in [Loga et al. 2020a] benutzte Begriff „Ausreißer“ wird hier nicht verwendet, da er aus statistischer Sicht nicht ganz zutreffend ist. Bei empirischen Analysen werden normalerweise sehr weit aus einer statistischen Verteilung herausfallende Werte als Ausreißer bezeichnet. Hier wird jedoch die Unsicherheit der Bedarfsberechnung als Kriterium verwendet, die (z.B. im Fall einer Stichprobe gleicher Gebäude) als Standardabweichung interpretiert werden kann. Im (statistischen) Idealfall wäre also zu erwarten, dass 68% der Gebäude unauffällig und 32% auffällig sind.

2017 2018

Verbrauch

Bedarf Vergleichswert

Verbrauch relativ zu Bedarf

"H+W"

helle Balkenfarbe: Gebäude mit unvollständigen oder fehlerhaften Daten

Heizung und Warmwasser

Energiekennwert [kWh/(m²a)]

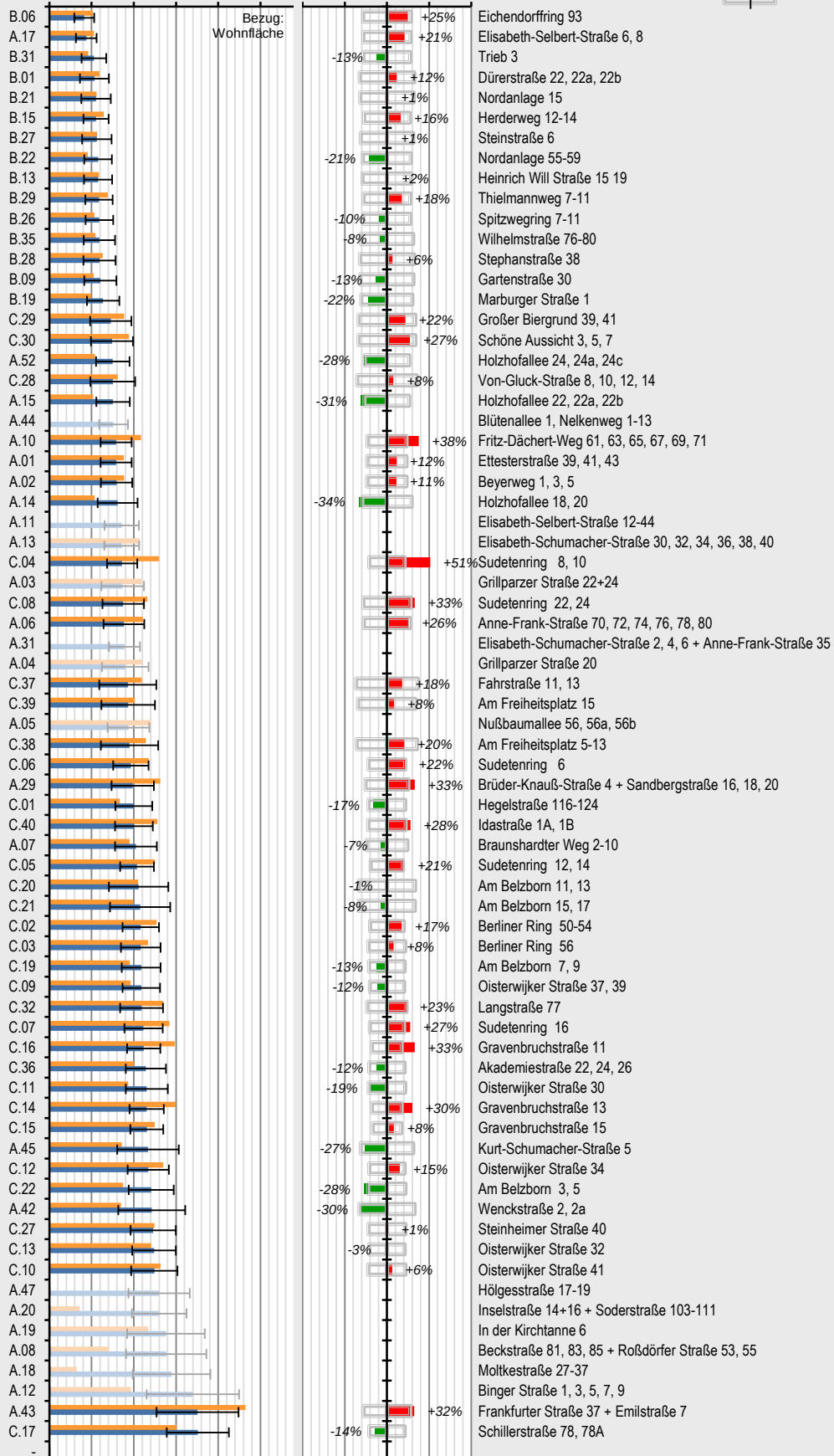
-50% 0% +50% +100%

Unsicherheit des Bedarfs:

0 50 100 150 200 250

relative Abweichung Verbrauch zu Bedarf

absolut
relativ



2017 2018

■ Verbrauch

■ Bedarf Vergleichswert

■ Verbrauch relativ zu Bedarf

"H"

nur Heizung

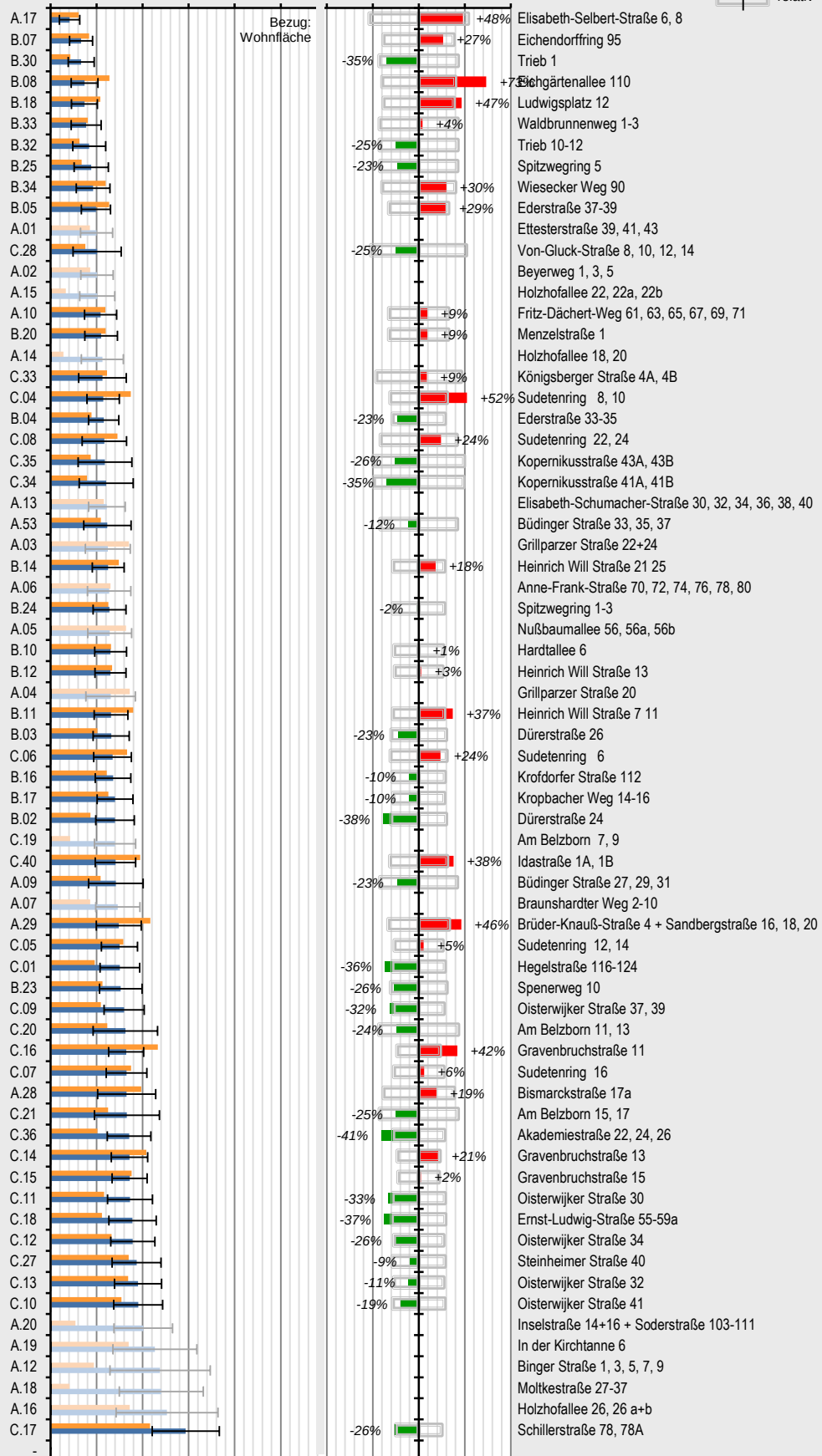
helle Balkenfarbe: Gebäude mit unvollständigen oder fehlerhaften Daten

Energiekennwert [kWh/(m²a)]

00% -50% 0% +50% +100%

relative Abweichung Verbrauch zu Bedarf

Unsicherheit des Bedarfs:

absolut
relativ

5.2 Auffällige Gebäude

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Kennwerte für alle Gebäude der Monitoring-tabelle – als Bezugsfläche dient dabei wie auch in den Diagrammen oben die Wohnfläche. Auf der linken Seite findet sich unter der Überschrift „Realbilanzierung“ der Endenergiebedarf jeweils für Heizung und für Warmwasser, ermittelt für das Durchschnittsklima am Standort. Die rechte Seite zeigt die gemessenen Verbrauchswerte und die zugehörigen Vergleichswerte Bedarf, die für das tatsächliche Klima im Verbrauchsjahr ermittelt wurden. Weiterhin ist dort für die Vergleichsebenen „<H+W> Heizung & Warmwasser“ und „<H> nur Heizung“ die relative Abweichung des Verbrauchs vom Bedarf und die relative Unsicherheit des Bedarfs sowie der daraus ermittelte Indikator für die Auffälligkeit des Verbrauchs wiedergegeben. Farblich hervorgehoben sind die Indikatoren, die größer als 1 oder kleiner als -1 sind, bei denen also der Energieverbrauch größer oder kleiner ist als der Unsicherheitsbereich des Vergleichswertes.

Tab. 10: Ergebnisdaten der Realbilanzierung und des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs
farbige Zellen zeigen die bezüglich ihres Verbrauchs auffälligen Werte
Energiebezugsfläche in dieser Tabelle: beheizte Wohnfläche

le_Re- sult	Text_Address	A_C_Ref	A_C_Livin g	h_ht_tr	γ_ht_ve	q_h_nd	Code_EC_h	Code_EC_w	q_h_del	q_w_del	q_hw_Co mpare_Cal	q_hw_Co mpare_Meter	DeviationRela- tive_Calc_hw	RelativeUncertainty _q_Compare_hw	Indicator_Mete- ringNotice- able_hw	q_h_Com- pare_Calc	q_h_Com- pare_Meter	DeviationRela- tive_Meter- Calc_h	RelativeUncertai- nty_q_Com- pare_h	Indica- tor_Mete- ringNotice- able_h
ID	Straße + Hausnummer	Bezugsflächen	TABULA Referenz- fläche (HRF)	Wohnflä- che	Realbilanzierung (Durchschnittsklima am Standort) Kennwerte bezogen auf Wohnfläche						Verbrauch-Bedarf-Vergleich Kennwerte bezogen auf Wohnfläche									
					Wärmeleitwert (Wär- metransferkoeffizient)	Heiz- wärme- bedarf	Energieträger	Endenergie	<H+W> Heizung & Warmwasser					<H> nur Heizung						
					Transmis- sion	Lüftung	H	W	H	W	Vergleichs- wert Bere- chnung (Be- darf)	Messung (Verbrauch)	relative Ab- weichung Verbrauch von Bedarf	relative Unsicher- heit Ver- gleichswert Bedarf	Indikator für Auffälligkeit des Ver- brauchs*	Vergleichs- wert Be- rechnung (Bedarf)	Messung (Verbrauch)	relative Ab- weichung Verbrauch von Bedarf	relative Unsicher- heit Ver- gleichswert Bedarf	Indikator für Auffälligkeit des Ver- brauchs*
		m²	m²	W/(m²K)	W/(m²K)	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)				kWh/(m²a)	kWh/(m²a)				
A.01	Ettesterstraße 39, 41, 43	1828	1662	0,48	0,47	45	Gas	Gas	54,8	29,0	87,0	97,0	+12%	±23%	+0,49	54,9	46,9	-15%	±35%	-0,41
A.02	Beyenweg 1, 3, 5	1429	1299	0,48	0,47	46	Gas	Gas	55,3	29,0	87,5	97,5	+11%	±23%	+0,49	55,5	47,2	-15%	±35%	-0,43
A.03	Grilparzer Straße 22+24	1467	1333	0,77	0,47	65	DH	DH	69,3	28,0	95,5	119,7	+25%	±29%	+0,87	68,4	93,7	+37%	±39%	+0,94
A.04	Grilparzer Straße 20	749	681	0,81	0,47	68	DH	DH	72,7	28,0	98,8	120,6	+22%	±31%	+0,72	71,7	94,5	+32%	±41%	+0,77
A.05	Nußbaumallee 56, 56a, 56b	1137	1033	0,65	0,47	58	Gas	Gas	71,5	29,6	103,1	132,5	+29%	±26%	+1,08	70,6	90,0	+28%	±37%	+0,74
A.06	Anne-Frank-Straße 70, 72, 74, 76, 78, 80	4098	3726	0,79	0,47	68	DH	DH	72,0	28,0	97,0	122,0	+26%	±27%	+0,94	69,9	71,5	+2%	±37%	+0,06
A.07	Braunsharder Weg 2-10	3974	3613	0,76	0,47	66	Gas	Gas	81,1	29,6	112,8	104,5	-7%	±24%	-0,30	80,2	47,2	-41%	±33%	-1,25
A.08	Beckstraße 81, 83, 85 + Roßdörfer Straße 53, 55	2343	2130	1,68	0,47	123	DH	DH	128,4	28,1	152,3	77,4	-49%	±34%	-1,43	-	-	-	-	-
A.09	Büdinger Straße 27, 29, 31	2516	2287	0,73	0,47	64	Gas	Gas	78,7	29,6	-	-	-	-	-	77,9	59,7	-23%	±42%	-0,56
A.10	Fritz-Dächert-Weg 61, 63, 65, 67, 69, 71	3032	2756	0,57	0,47	52	DH	DH	56,1	28,0	86,9	119,5	+38%	±23%	+1,62	59,8	65,3	+9%	±32%	+0,29
A.11	Elisabeth-Selbert-Straße 12-44	3818	3471	0,66	0,47	59	DH	DH	62,9	28,0	94,3	-	-	±24%	-	-	-	-	-	-
A.12	Binger Straße 1, 3, 5, 7, 9	3714	3376	1,61	0,47	117	Gas	Gas	141,7	29,6	186,9	106,2	-43%	±32%	-1,34	130,8	51,8	-60%	±46%	-1,32
A.13	Elisabeth-Schumacher- Straße 30, 32, 34, 36, 38,	3272	2974	0,66	0,47	59	DH	DH	62,8	28,1	94,3	117,6	+25%	±24%	+1,03	67,2	63,5	-5%	±33%	-0,17
A.14	Holzfofallee 18, 20	1037	943	0,58	0,47	54	DH	DH	58,1	28,1	88,9	58,9	-34%	±29%	-1,15	61,8	15,4	-75%	±41%	-1,84
A.15	Holzfofallee 22, 22a, 22b	1755	1596	0,58	0,47	54	DH	DH	57,8	28,1	82,9	57,0	-31%	±26%	-1,18	55,8	18,2	-67%	±38%	-1,79
A.16	Holzfofallee 26, 26 a+b	1471	1338	1,72	0,47	125	Gas	Gas	150,6	29,6	-	-	-	-	-	139,2	94,6	-32%	±44%	-0,73
A.17	Elisabeth-Selbert-Straße 6, 8	4005	3641	0,29	0,27	33	DH	DH	21,7	26,2	48,0	58,1	+21%	±28%	+0,75	22,7	33,6	+48%	±54%	+0,89
A.18	Moltkestraße 27-37	4627	4206	1,63	0,47	118	DH	DH	123,7	28,0	159,4	35,7	-78%	±32%	-2,44	132,3	22,5	-83%	±38%	-2,18
A.19	In der Kirchtanne 6	5851	5319	1,52	0,47	111	DH	DH	116,7	28,0	151,7	128,9	-15%	±33%	-0,45	124,6	93,4	-25%	±40%	-0,62
A.20	Inselstraße 14+16 + Soder- straße 103-111	5048	4589	1,02	0,47	83	Gas	Gas	101,6	29,6	143,3	39,4	-72%	±25%	-2,91	110,7	29,8	-73%	±32%	-2,31
A.21	Mathildenstraße 48	579	526	1,03	0,47	84	Gas	Gas	103,0	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.22	Lucasweg 3	315	286	0,83	0,47	70	Gas	Gas	86,7	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.23	Mathildenstraße 42	569	517	1,07	0,47	87	Gas	Gas	105,8	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.24	Mathildenstraße 54	431	392	1,04	0,47	85	Gas	Gas	103,8	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.25	Darmstraße 33	236	214	0,99	0,56	88	Gas	Gas	108,0	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.26	Gutenbergstraße 26 + Lich- tenbergstraße 22	1020	928	0,80	0,47	68	Gas	Gas	84,4	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.27	Robert-Schneider-Straße 68	309	281	0,90	0,47	76	Gas	Gas	93,2	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.28	Bismarckstraße 17a	401	365	0,98	0,47	80	DH	DH	85,0	28,1	-	-	-	-	-	90,9	108,4	+19%	±38%	+0,50
A.29	Brüder-Knauf-Straße 4 + Sandbergstraße 16, 18, 20	2878	2617	0,85	0,47	72	DH	DH	76,3	28,0	108,7	144,5	+33%	±25%	+1,30	81,6	119,2	+46%	±33%	+1,40
A.30	Binger Straße 10-16	1092	993	0,97	0,47	79	Gas	Gas	97,1	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.31	Elisabeth-Schumacher- Straße 2, 4, 6 + Anne- Frank-Straße 35	3236	2942	0,54	0,47	50	Gas	Gas	60,5	29,0	97,8	-	-	±21%	-	-	-	-	-	-
A.32	Moltkestraße 21-25	2244	2040	0,77	0,47	66	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.33	Binger Straße 2-6	2126	1933	0,77	0,47	66	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.34	Mathildenstraße 28	390	355	1,08	0,47	87	Gas	Gas	106,5	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ID_Tab le_Re- sult	Text_Address	A_C_Ref	A_C_Livin g	h_ht_tr	h_ht_ve	q_h_nd Code_EC_h	Code_EC_w	q_h_del	q_w_del	q_hw_Co mpare_Cal	q_hw_Com pare_Meter	Deviation ive_Meter- Calc_hw	Rela- tiveUncertai- nty g_Com- pare_hw	Indicator_Mete- ringNotice- able_hw	q_h_Com- pare_Calc	q_h_Com- pare_Meter	Deviation ive_Meter- Calc_h	Rela- tiveUncertai- nty g_Com- pare_h	Indica- tor_Mete- ringNotice- able_h	
ID	Straße + Hausnummer	Bezugsflä- chen	Realbilanzierung (Durchschnittsklima am Standort) Kennwerte bezogen auf Wohnfläche	Wärmeleitwert (Wär- metransferkoeffizient)	Heiz- wärme- bedarf	Energieträger	Endenergie	Verbrauch-Bedarf-Vergleich Kennwerte bezogen auf Wohnfläche												
		TABULA Referenz- fläche (HfRf)	Wohnflä- che	verwendet für Kenn- werte in dieser Ta- belle	Transmis- sion	Lüftung	H	W	H	W	<H+W> Heizung & Warmwasser						<H> nur Heizung			
											Vergleichs- wert Berech- nung (Be- darf)	Messung (Verbrauch)	relative Ab- weichung Verbrauch von Bedarf	relative Unsicher- heit Ver- gleichswert Bedarf	Indikator für Auffälligkeit des Ver- brauchs*	Vergleichs- wert Berech- nung (Be- darf)	Messung (Verbrauch)	relative Ab- weichung Verbrauch von Bedarf	relative Unsicher- heit Ver- gleichswert Bedarf	Indikator für Auffälligkeit des Ver- brauchs*
		m²	m²		W/(m²K)	W/(m²K)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)				kWh/(m²a)	kWh/(m²a)			
A.35	Heidenreichstraße 6	401	365	1,37	0,56	113	Gas	Gas	136,7	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.36	Herdweg 91	753	685	1,10	0,47	88	Gas	Gas	107,7	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.37	Wilhelm-Glassing-Straße 40	311	282	0,91	0,47	77	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.38	Mathildenstraße 26	508	462	1,06	0,47	86	Gas	Gas	104,7	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.39	Gundolfstraße 18	570	518	1,33	0,56	110	Gas	Gas	134,0	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.40	Beckstraße 57	487	442	1,06	0,47	86	Gas	Gas	104,8	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.41	Wilhelm-Glassing-Straße 6+8	818	744	0,97	0,47	80	Gas	Gas	98,5	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.42	Wenckstraße 2, 2a	1005	914	1,00	0,47	83	Gas	Gas	101,9	29,6	133,4	93,2	-30%	±33%	-0,92	-	-	-	-	-
A.43	Frankfurter Straße 37 + E- milstraße 7	773	703	2,38	0,47	164	DH	DH	170,0	28,1	193,1	255,6	+32%	±28%	+1,17	-	-	-	-	-
A.44	Blütenallee 1, Nelkenweg 1-13	7020	6382	0,33	0,47	36	Gas	Gas	46,3	29,6	83,6	-	-	±22%	-	-	-	-	-	-
A.45	Kurt-Schumacher-Straße 5	3487	3170	1,18	0,47	90	DH	DH	95,0	28,0	128,5	94,4	-27%	±31%	-0,85	-	-	-	-	-
A.46	Hügelstraße 30-32	803	730	1,03	0,47	84	Gas	Gas	102,8	29,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.47	Hölgessstraße 17-19	1494	1358	1,01	0,47	83	Gas	Gas	101,3	29,6	143,0	-	-	±28%	-	-	-	-	-	-
A.48	Taunusstraße 16	338	307	0,71	0,47	63	Gas	Gas	73,7	26,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.49	Hoffmannstraße 41-43	767	698	0,74	0,47	65	Gas	Gas	75,6	27,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.50	Spessarting 14, 16 + Alf- red-Messel-Weg 2	1992	1811	1,46	0,47	111	DH	DH	116,8	28,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.51	Spessarting 27 + Hohler Weg 26	919	835	1,48	0,47	113	DH	DH	118,7	28,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.52	Holzhofallee 24, 24a, 24c	2476	2251	0,57	0,47	53	DH	DH	57,3	28,1	82,5	59,5	-28%	±26%	-1,06	-	-	-	-	-
A.53	Büdingen Straße 33, 35, 37	2520	2291	0,76	0,47	65	DH	DH	69,7	28,0	-	-	-	-	-	67,8	59,9	-12%	±42%	-0,28
B.01	Dürerstraße 22, 22a, 22b	1315	1196	0,46	0,32	52	DH	DH	37,6	20,6	58,7	65,5	+12%	±32%	+0,36	-	-	-	-	-
B.02	Dürerstraße 24	526	478	0,74	0,47	66	DH	DH	68,0	20,6	-	-	-	-	-	77,1	47,4	-38%	±30%	-1,29
B.03	Dürerstraße 26	529	481	0,68	0,47	62	DH	DH	63,9	20,6	-	-	-	-	-	72,5	56,0	-23%	±30%	-0,76
B.04	Ederstraße 33-35	1485	1350	0,56	0,47	55	DH	DH	56,3	20,6	-	-	-	-	-	63,5	49,0	-23%	±28%	-0,80
B.05	Ederstraße 37-39	1452	1320	0,47	0,47	47	DH	DH	48,0	20,6	-	-	-	-	-	54,2	70,1	+29%	±32%	+0,91
B.06	Eichendorffring 93	1325	1204	0,26	0,32	37	DH	DH	22,2	20,6	45,4	56,5	+25%	±28%	+0,87	-	-	-	-	-
B.07	Eichendorffring 95	1160	1054	0,40	0,32	47	DH	DH	32,2	20,6	-	-	-	-	-	36,4	46,1	+27%	±38%	+0,70
B.08	Eichgärtenallee 110	3671	3337	0,44	0,32	50	DH	DH	35,9	20,6	-	-	-	-	-	40,5	70,3	+73%	±40%	+1,85
B.09	Gartenstraße 30	1060	963	0,52	0,32	55	DH	DH	40,6	20,6	66,4	57,7	-13%	±32%	-0,42	-	-	-	-	-
B.10	Hardtallee 6	2768	2516	0,69	0,47	63	DH	DH	64,8	20,6	-	-	-	-	-	71,6	72,1	+1%	±27%	+0,03
B.11	Heinrich Will Straße 7 11	1860	1691	0,67	0,47	62	DH	DH	63,5	20,6	-	-	-	-	-	72,1	98,9	+37%	±28%	+1,33
B.12	Heinrich Will Straße 13	3236	2942	0,67	0,47	61	DH	DH	63,1	20,6	-	-	-	-	-	71,6	73,6	+3%	±26%	+0,10
B.13	Heinrich Will Straße 15 19	1681	1529	0,46	0,32	52	DH	DH	37,5	20,6	63,4	64,5	+2%	±29%	+0,06	-	-	-	-	-
B.14	Heinrich Will Straße 21 25	1879	1708	0,62	0,47	59	DH	DH	60,6	20,6	-	-	-	-	-	68,7	81,3	+18%	±28%	+0,66
B.15	Herderweg 12-14	3038	2761	0,45	0,32	51	DH	DH	36,6	20,6	60,9	70,8	+16%	±27%	+0,60	-	-	-	-	-
B.16	Kroldorfer Straße 112	1851	1683	0,73	0,47	66	DH	DH	67,6	20,6	-	-	-	-	-	74,7	67,1	-10%	±28%	-0,35
B.17	Kropbacher Weg 14-16	1116	1015	0,76	0,47	68	DH	DH	69,6	20,6	-	-	-	-	-	77,0	69,0	-10%	±28%	-0,37
B.18	Ludwigsplatz 12	1185	1077	0,44	0,32	49	DH	DH	35,3	20,6	-	-	-	-	-	40,5	59,4	+47%	±38%	+1,22
B.19	Marburger Straße 1	731	664	0,55	0,32	58	DH	DH	43,8	20,6	70,0	54,5	-22%	±30%	-0,73	-	-	-	-	-
B.20	Menzelstraße 1	948	862	0,51	0,47	52	DH	DH	53,0	20,6	-	-	-	-	-	60,3	65,8	+9%	±32%	+0,29
B.21	Nordanlage 15	668	607	0,44	0,32	50	DH	DH	35,8	20,6	60,9	61,5	+1%	±32%	+0,03	-	-	-	-	-
B.22	Nordanlage 55-59	1968	1789	0,47	0,32	52	DH	DH	38,1	20,6	63,4	50,0	-21%	±28%	-0,74	-	-	-	-	-
B.23	Spenerweg 10	388	353	0,85	0,47	74	DH	DH	76,0	20,6	-	-	-	-	-	83,9	61,8	-26%	±30%	-0,86
B.24	Spitzwegring 1-3	1116	1014	0,65	0,47	61	DH	DH	62,0	20,6	-	-	-	-	-	70,4	68,9	-2%	±28%	-0,08
B.25	Spitzwegring 5	690	627	0,52	0,32	56	DH	DH	41,9	20,6	-	-	-	-	-	48,5	37,2	-23%	±42%	-0,56
B.26	Spitzwegring 7-11	1853	1685	0,48	0,32	53	DH	DH	38,9	20,6	65,1	58,6	-10%	±28%	-0,36	-	-	-	-	-
B.27	Steinstraße 6	700	637	0,45	0,32	50	DH	DH	36,4	20,6	61,7	62,3	+1%	±31%	+0,03	-	-	-	-	-
B.28	Stephanstraße 38	550	500	0,50	0,32	54	DH	DH	39,7	20,6	65,3	69,6	+6%	±32%	+0,20	-	-	-	-	-
B.29	Thielmannweg 7-11	2190	1991	0,47	0,32	53	DH	DH	38,6	20,6	64,6	76,1	+18%	±28%	+0,65	-	-	-	-	-
B.30	Trieb 1	2232	2029	0,40	0,32	47	DH	DH	32,2	20,6	-	-	-	-	-	36,5	23,7	-35%	±43%	-0,82
B.31	Trieb 3	2237	2034	0,41	0,32	48	DH	DH	33,8	20,6	58,1	50,8	-13%	±28%	-0,45	-	-	-	-	-
B.32	Trieb 10-12	727	661	0,51	0,32	55	DH	DH	41,0	20,6	-	-	-	-	-	46,1	34,6	-25%	±42%	-0,59
B.33	Waldbrunnenweg 1-3	1081	983	0,45	0,32	51	DH	DH	36,5	20,6	-	-	-	-	-	42,5	44,3	+4%	±42%	+0,10
B.34	Wiesecker Weg 90	1039	945	0,55	0,32	58	DH	DH	43,9	20,6	-	-	-	-	-	50,7	65,9	+30%	±40%	+0,76
B.35	Wilhelmstraße 76-80	1492	1357	0,51	0,32	56	DH	DH	41,4	20,6	65,2	60,0	-8%	±31%	-0,26	-	-	-	-	-
C.01	Hegelstraße 116-124	3193	2902	0,99	0,47	73	Gas	Gas	84,6	29,0	110,0	91,7	-17%	±22%	-0,76	82,9	52,6	-36%	±29%	-1,28
C.02	Berliner Ring 50-54	1737	1579	0,90	0,47	67	Gas	Gas	78,5	29,0	118,9	139,6	+17%	±20%	+0,87	-	-	-	-	-
C.03	Berliner Ring 56	783	712	0,90	0,47	68	Gas	Gas	78,8	29,0	119,1	128,5	+8%	±22%	+0,36	-	-	-	-	-
C.04	Sudetenring 8, 10	1451	1319	0,54	0,47	48	Gas	Gas	56,6	29,0	94,7	143,2	+51%	±21%	+2,45	62,8	95,7	+52%	±31%	+1,70

ID	Straße + Hausnummer	Bezugsflächen	Realbilanzierung (Durchschnittsklima am Standort) Kennwerte bezogen auf Wohnfläche								Verbrauch-Bedarf-Vergleich Kennwerte bezogen auf Wohnfläche										
		TABULA Referenz- fläche (HfE)	Wohnflä- che	verwendet für Kenn- werte in dieser Ta- belle	Transmis- sion	Lüftung	H	W	H	W	<H+W> Heizung & Warmwasser				<H> nur Heizung						
			m²	m²	W/(m²K)	W/(m²K)	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	Vergleichs- wert Berech- nung (Be- darf)	Messung (Verbrauch)	relative Ab- weichung Verbrauch von Bedarf	relative Unsi- cherheit Ver- gleichswert Bedarf	Indikator für Auffällig- keit des Ver- brauchs*	Vergleichs- wert Berech- nung (Bedarf)	Messung (Verbrauch)	relative Ab- weichung Verbrauch von Bedarf	relative Unsi- cherheit Ver- gleichswert Bedarf	Indikator für Auffällig- keit des Ver- brauchs*	
			m²	m²	W/(m²K)	W/(m²K)	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)				kWh/(m²a)	kWh/(m²a)				
C.05	Sudetenring 12, 14	1456	1323		0,92	0,47	69	Gas	Gas	74,4	29,0	114,2	137,7	+21%	±19%	+1,07	82,3	86,8	+5%	±26%	+0,21
C.06	Sudetenring 6	721	656		0,71	0,47	57	Gas	Gas	66,9	29,0	106,1	129,4	+22%	±22%	+1,01	74,0	91,5	+24%	±30%	+0,77
C.07	Sudetenring 16	722	656		0,96	0,47	70	Gas	Gas	82,0	29,0	122,7	156,3	+27%	±20%	+1,35	90,8	96,2	+6%	±27%	+0,22
C.08	Sudetenring 22, 24	1496	1360		0,97	0,47	71	Gas	Gas	93,3	29,0	96,2	127,8	+33%	±28%	+1,17	64,3	79,7	+24%	±41%	+0,58
C.09	Oistenvijkjer Straße 37, 39	1282	1166		0,91	0,47	68	Gas	Gas	79,3	29,0	119,8	105,9	-12%	±20%	-0,57	87,9	60,1	-32%	±27%	-1,16
C.10	Oistenvijkjer Straße 41	383	349		1,13	0,47	82	Gas	Gas	94,6	29,0	136,7	145,0	+6%	±22%	+0,28	104,6	84,6	-19%	±28%	-0,68
C.11	Oistenvijkjer Straße 30	580	527		1,00	0,47	74	Gas	Gas	85,7	29,0	126,8	102,7	-19%	±22%	-0,88	94,9	63,8	-33%	±28%	-1,16
C.12	Oistenvijkjer Straße 34	580	527		1,13	0,47	81	Gas	Gas	88,6	27,8	128,7	148,3	+15%	±21%	+0,73	98,1	73,0	-26%	±27%	-0,95
C.13	Oistenvijkjer Straße 32	580	527		1,13	0,47	81	Gas	Gas	94,3	29,0	136,4	132,9	-3%	±21%	-0,12	104,4	92,7	-11%	±27%	-0,42
C.14	Gravenbruchstraße 13	974	886		0,94	0,47	69	Gas	Gas	85,1	29,6	126,8	164,9	+30%	±18%	+1,71	94,3	114,3	+21%	±23%	+0,93
C.15	Gravenbruchstraße 15	1689	1536		0,94	0,47	69	Gas	Gas	85,4	29,6	126,9	137,3	+8%	±17%	+0,49	94,5	96,7	+2%	±22%	+0,10
C.16	Gravenbruchstraße 11	639	581		0,85	0,47	66	Gas	Gas	81,5	29,6	122,8	163,4	+33%	±18%	+1,87	90,3	128,0	+42%	±23%	+1,80
C.17	Schillerstraße 78, 78A	733	666		1,83	0,47	127	Gas	Gas	145,5	29,0	193,4	165,9	-14%	±21%	-0,68	161,4	118,7	-26%	±25%	-1,06
C.18	Ernst-Ludwig-Straße 55-59a	1754	1595		0,93	0,47	73	Gas	Gas	88,2	21,6	-	-	-	-	-	97,9	61,3	-37%	±29%	-1,29
C.19	Am Belzborn 7, 9	1640	1491		0,53	0,47	50	Gas	Gas	69,8	38,7	119,7	104,7	-13%	±21%	-0,59	77,1	23,4	-70%	±32%	-2,18
C.20	Am Belzborn 11, 13	1651	1501		1,03	0,47	79	Gas	Gas	126,7	38,7	116,4	115,4	-1%	±33%	-0,02	89,3	67,6	-24%	±43%	-0,56
C.21	Am Belzborn 15, 17	1640	1491		1,06	0,47	81	Gas	Gas	129,4	38,7	118,2	109,3	-8%	±33%	-0,23	91,1	68,7	-25%	±43%	-0,58
C.22	Am Belzborn 3, 5	1640	1491		0,53	0,47	50	Gas	Gas	81,5	38,8	132,6	96,1	-28%	±22%	-1,25	-	-	-	-	-
C.23	Sperberstraße 1, 3	1351	1228		0,72	0,47	-	Oil	El	-	21,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.24	Sperberstraße 5, 7	1234	1121		0,69	0,47	-	Oil	El	-	21,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.25	Amselweg 8-12	1493	1358		0,74	0,47	-	Oil	El	-	21,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.26	Amselweg 14, 16	1018	926		0,73	0,47	-	Oil	El	-	21,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.27	Steinheimer Straße 40	687	624		1,03	0,47	76	Gas	Gas	92,1	29,6	135,3	136,8	+1%	±22%	+0,05	102,7	93,3	-9%	±28%	-0,32
C.28	Von-Gluck-Straße 8, 10, 12, 14	3160	2873		0,59	0,47	48	Gas	Gas	78,2	38,8	82,6	88,9	+8%	±35%	+0,22	55,5	41,6	-25%	±52%	-0,48
C.29	Großer Biergrund 39, 41	1771	1610		0,49	0,47	45	Gas	Gas	74,1	38,8	80,0	97,5	+22%	±34%	+0,65	-	-	-	-	-
C.30	Schöne Aussicht 3, 5, 7	2314	2104		0,52	0,47	47	Gas	Gas	76,3	38,8	81,6	103,7	+27%	±34%	+0,81	-	-	-	-	-
C.31	Berliner Straße 57, 59, 61, 63	2452	2229		0,86	0,47	-	Gas	El	-	26,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.32	Langstraße 77	386	351		0,86	0,47	68	Gas	Gas	79,2	29,0	120,2	148,2	+23%	±23%	+1,00	-	-	-	-	-
C.33	Königsberger Straße 4A, 4B	3965	3604		0,65	0,47	54	Gas	Gas	88,1	38,8	-	-	-	-	-	62,0	67,4	+9%	±46%	+0,19
C.34	Kopernikusstraße 41A, 41B	1062	966		0,71	0,47	58	Gas	Gas	94,4	38,8	-	-	-	-	-	66,4	43,4	-35%	±49%	-0,71
C.35	Kopernikusstraße 43A, 43B	1077	979		0,69	0,47	57	Gas	Gas	92,3	38,8	-	-	-	-	-	65,0	48,0	-26%	±49%	-0,53
C.36	Akademiestraße 22, 24, 26	2301	2092		0,97	0,47	72	Gas	Gas	84,3	29,0	125,7	110,2	-12%	±21%	-0,59	93,8	55,8	-41%	±28%	-1,46
C.37	Fahrstraße 11, 13	1656	1506		0,86	0,47	65	Gas	Gas	106,3	38,8	102,2	120,5	+18%	±36%	+0,49	-	-	-	-	-
C.38	Am Freiheitsplatz 5-13	2699	2454		0,89	0,47	68	Gas	Gas	109,3	38,8	104,5	125,8	+20%	±36%	+0,57	-	-	-	-	-
C.39	Am Freiheitsplatz 15	638	580		0,86	0,47	66	Gas	Gas	96,2	35,1	102,6	111,3	+8%	±34%	+0,25	-	-	-	-	-
C.40	Idastraße 1A, 1B	1077	979		0,69	0,47	57	Gas	Gas	69,5	29,6	110,1	140,7	+28%	±22%	+1,25	77,6	107,0	+38%	±31%	+1,22
C.41	Schloßstraße 10, 10a, 10b	1444	1313		1,13	0,47	-	Oil	El	-	21,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*) „Indikator für Auffälligkeit des Verbrauchs“ (dimensionslos): Abweichung des Verbrauchs vom Bedarf im Verhältnis zur Unsicherheit des Bedarfs --- Berechnung: $(\text{Verbrauch} - \text{Bedarf}) / \text{Unsicherheit des Bedarfs}$

Wenn der Indikator einen Wert zwischen -1,0 und +1,0 annimmt, zeigt dies an, dass der Verbrauch innerhalb des Unsicherheitsbereichs des Bedarfs liegt - das Gebäude wird bezüglich seines Verbrauchs als „unauffällig“ eingestuft. (Ein Wert von 0,0 sagt dabei aus, dass der Verbrauch des Gebäudes (zufällig) genau so groß ist wie der Bedarf.) Wenn der Indikator größer als +1,0 ist, liegt der Verbrauch oberhalb des Unsicherheitsbereichs des Bedarfs – der Verbrauch wird als „auffällig hoch“ eingestuft. Wenn der Indikator kleiner als -1,0 ist, liegt der Verbrauch unterhalb des Unsicherheitsbereichs des Bedarfs – der Verbrauch wird als „auffällig niedrig“ eingestuft.

In den beiden folgenden Diagramme sind die Gebäude nach der „Auffälligkeit“ des Verbrauch-Bedarf-Zusammenhangs sortiert. Der entsprechende numerische Indikator (Abweichung des Verbrauchskennwertes zum Bedarfskennwert bezogen auf die Unsicherheit des Bedarfskennwertes) findet sich in den eckigen Klammern an der rechten Achse des Diagramms. Die Sortierung liefert oben die (gegenüber dem Vergleichswert) auffällig niedrigen Verbrauchskennwerte und unten die auffällig hohen Verbrauchskennwerte.

Bild 29: Sortierung nach dem Indikator für „Auffälligkeit“: „H+W“ (Daten entsprechen Bild 27)
(nächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H+W“ – Heizung & Warmwasser

Bild 30: Sortierung nach dem Indikator für „Auffälligkeit“: „H“ (Daten entsprechen Bild 28)
(übernächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H“ – nur Heizung

Verbrauch 2017 oder 2018 (je nach Verfügbarkeit)

- Indikator für Auffälligkeit in eckigen Klammern nahe der rechten Achse
 - Bedarfsberechnung für die Gebäudestandorte, kalibriert auf das jeweilige Jahresklima
 - Energiekennwerte in diesen Diagrammen bezogen auf die Wohnfläche
 - für Gebäude mit Datenlücken oder -unklarheiten sind die Balken hell hinterlegt
- (Arbeitsstand Dezember 2020)

2017 2018

Verbrauch

Bedarf Vergleichswert

Verbrauch relativ zu Bedarf

"H+W"

helle Balkenfarbe: Gebäude mit unvollständigen oder unplausiblen Daten

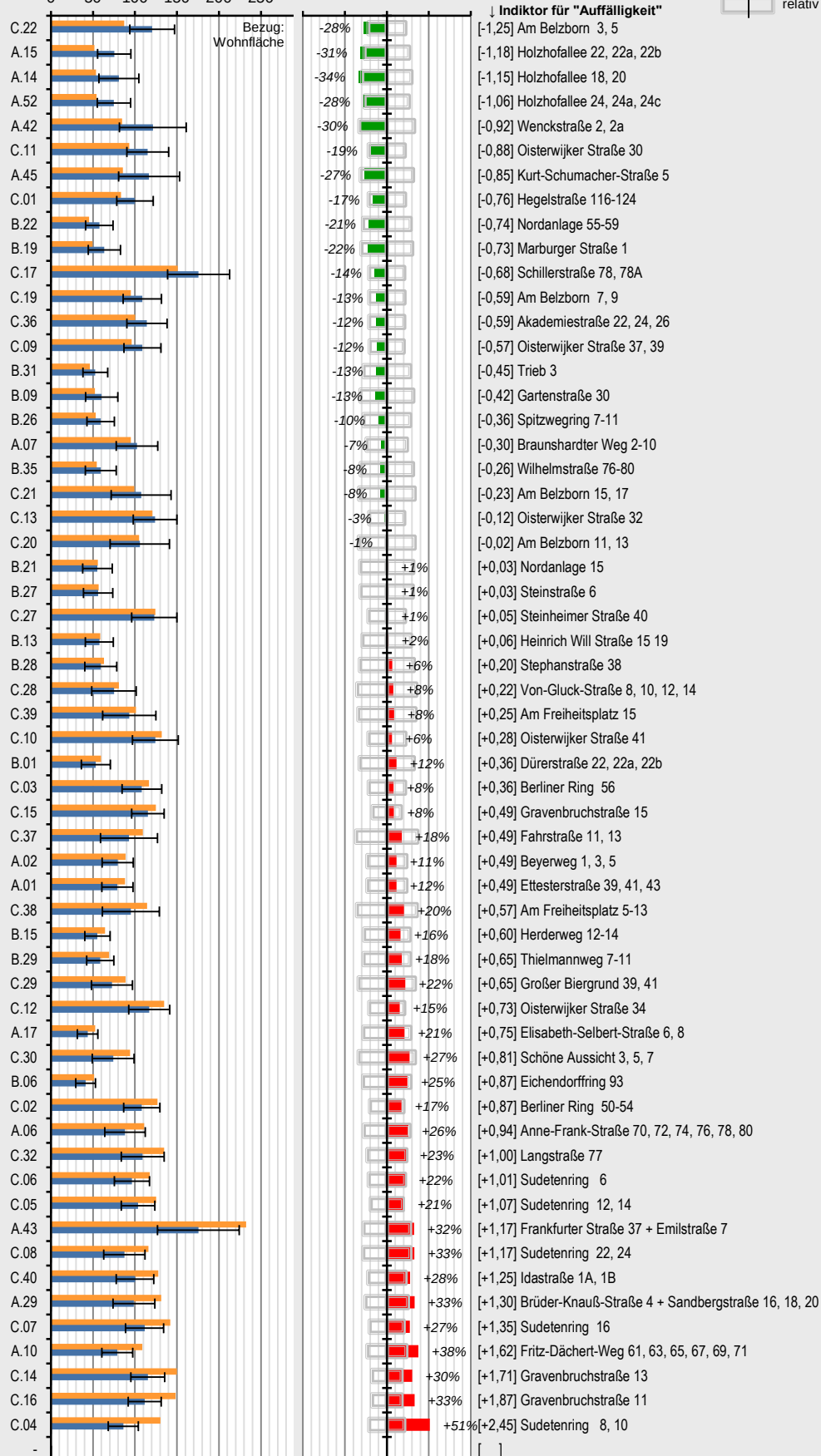
Heizung und Warmwasser

Energiekennwert [kWh/(m²a)]

-50% 0% +50% +100%

relative Abweichung Verbrauch zu Bedarf

Unsicherheit des Bedarfs:

absolut
relativ

2017 2018

Verbrauch

Bedarf Vergleichswert

Verbrauch relativ zu Bedarf

"H"

nur Heizung

helle Balkenfarbe: Gebäude mit unvollständigen oder unplausiblen Daten

Energiekennwert [kWh/(m²a)]

00% -50% 0% +50% +100%

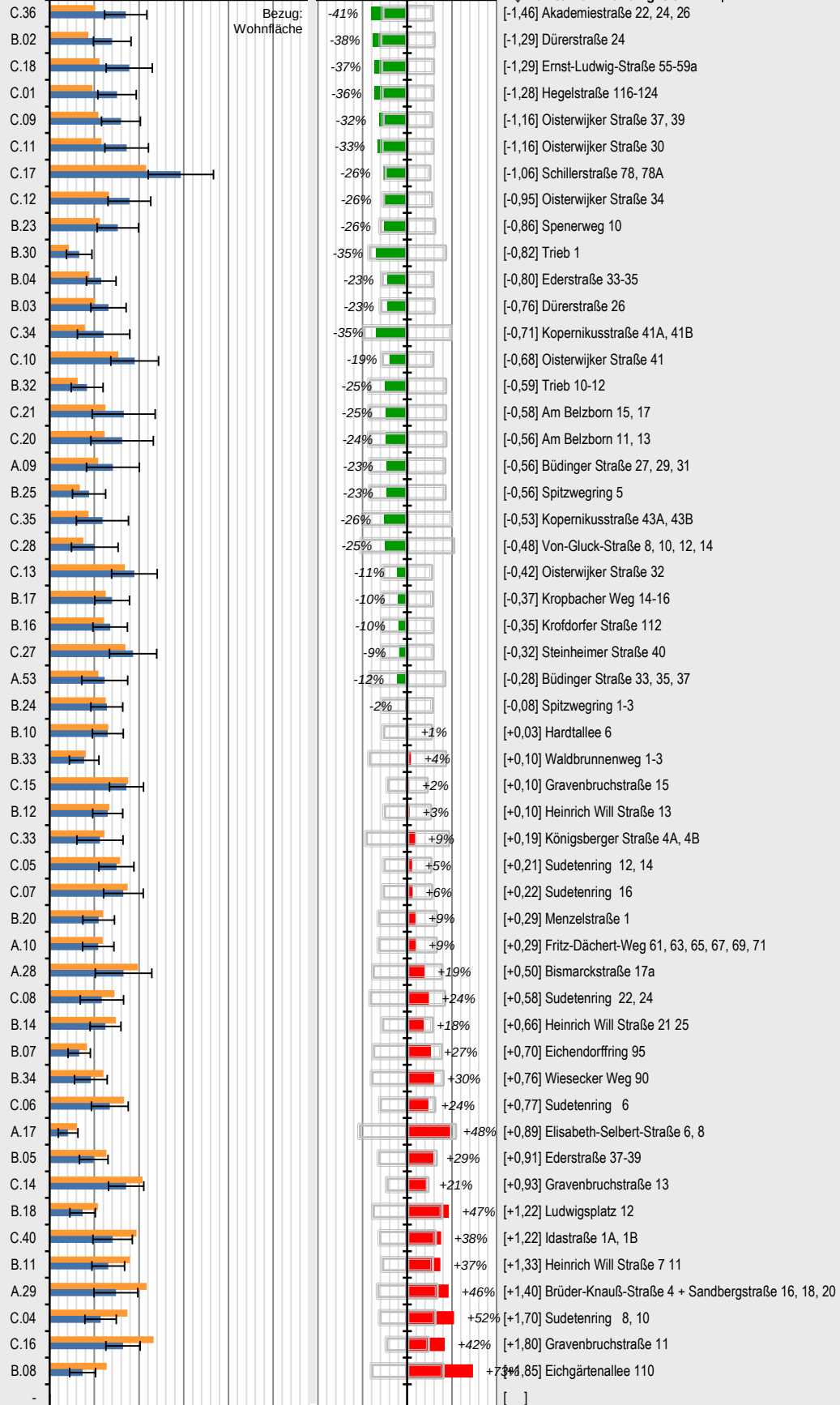
Unsicherheit des Bedarfs:

absolut
relativ

0 50 100 150 200 250

relative Abweichung Verbrauch zu Bedarf

↓ Indikator für "Auffälligkeit"



5.3 Umsetzung von Maßnahmen des Verbrauchscontrollings

5.3.1 Prüfung der Datengrundlagen

Für die als auffällig identifizierten Gebäude wird nun entsprechend dem in Abschnitt 1.3 beschriebenen Schema eine Überprüfung vorgenommen. Im ersten Schritt sollen bei den Wohnungsunternehmen vorhandene zusätzliche Unterlagen gesichtet werden, um Besonderheiten festzustellen, die in der Energiebilanz möglicherweise noch berücksichtigt werden müssen. Es handelt sich dabei um (Details siehe Abschnitt 1.3):

- Informationen zum besseren Verständnis der Verbrauchsabrechnung (Liegenschaftsabrechnung, ggf. Brennstoffrechnung, Auszug aus Abrechnungsdatenbank, ggf. Detailberechnung, Lokalisierung und Zuordnung der Zähler, ...)
- Einschätzung der zeitlichen Entwicklung für mehrere Jahre (Zeitreihen abgerechneter Verbrauch);
- Informationen zum Gebäude und zum energetischen Zustand (Modernisierungsunterlagen, Fotos, EnEV-Nachweis; Details zu Lüftungsanlagen, ...)

Die Bereitstellung und Prüfung der Unterlagen und Daten läuft zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Berichts.

5.3.2 Ausblick auf die möglichen Maßnahmen: Modifikation der Datensätze und Vor-Ort-Überprüfung

Wenn bei der Sichtung der detaillierten Unterlagen Informationen gefunden werden, die eine Ergänzung oder Korrektur der Zustands- oder Verbrauchsdaten zur Folge haben, werden diese entsprechend in die Monitoring-Tabelle eingearbeitet. Falls sich damit die Abweichung zwischen Verbrauch und Bedarf verringert und das Gebäude nicht mehr als auffällig eingestuft wird, erfolgen hier keine weiteren Untersuchungen und das nächste der auffälligen Gebäude wird geprüft (sofern vorhanden).

Bleibt die Abweichung zwischen Verbrauch und Bedarf bestehen, wird bei den betreffenden Gebäuden als nächste Stufe der Ursachenermittlung eine Vor-Ort-Begehung durchgeführt. Ziel ist die Sichtprüfung des baulichen Wärmeschutzes, der Heizungsanlage (Art der Leitungsführung, Dämmung, Betriebsführung) und die Position der für die Verbrauchserfassung verwendeten Zähler.

Grundsätzlich sei noch angemerkt, dass aus statistischer Sicht zu erwarten ist, dass knapp ein Drittel der Verbrauchswerte außerhalb des Erwartungsbereichs liegt. Bei auffälligen Verbrauchswerte muss daher nicht per se eine Korrekturmaßnahme erfolgen. Allerdings ist bei diesen Gebäuden die Wahrscheinlichkeit sehr viel größer, dass Daten fehlerhaft sind oder die Betriebsführung bzw. Nutzung nicht energieeffizient erfolgt.

5.4 Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Energiebedarf / Kalibrierung der Realbilanz

In Bild 31 ist für alle Gebäude der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser über dem mit der Realbilanzierung berechneten Vergleichswert des Energiebedarfs aufgetragen. Für den Energiebedarf wurden Kategorien gebildet (Markierungen in orange auf der x-Achse) und für jede Kategorie der Mittelwert des Verbrauchs (dunkelblaue Punkte, durch Linien miteinander verbunden) sowie die Standardabweichung (lang gestrichelt, rot und grün) und die doppelte Standardabweichung (kurz gestrichelt) eingetragen.

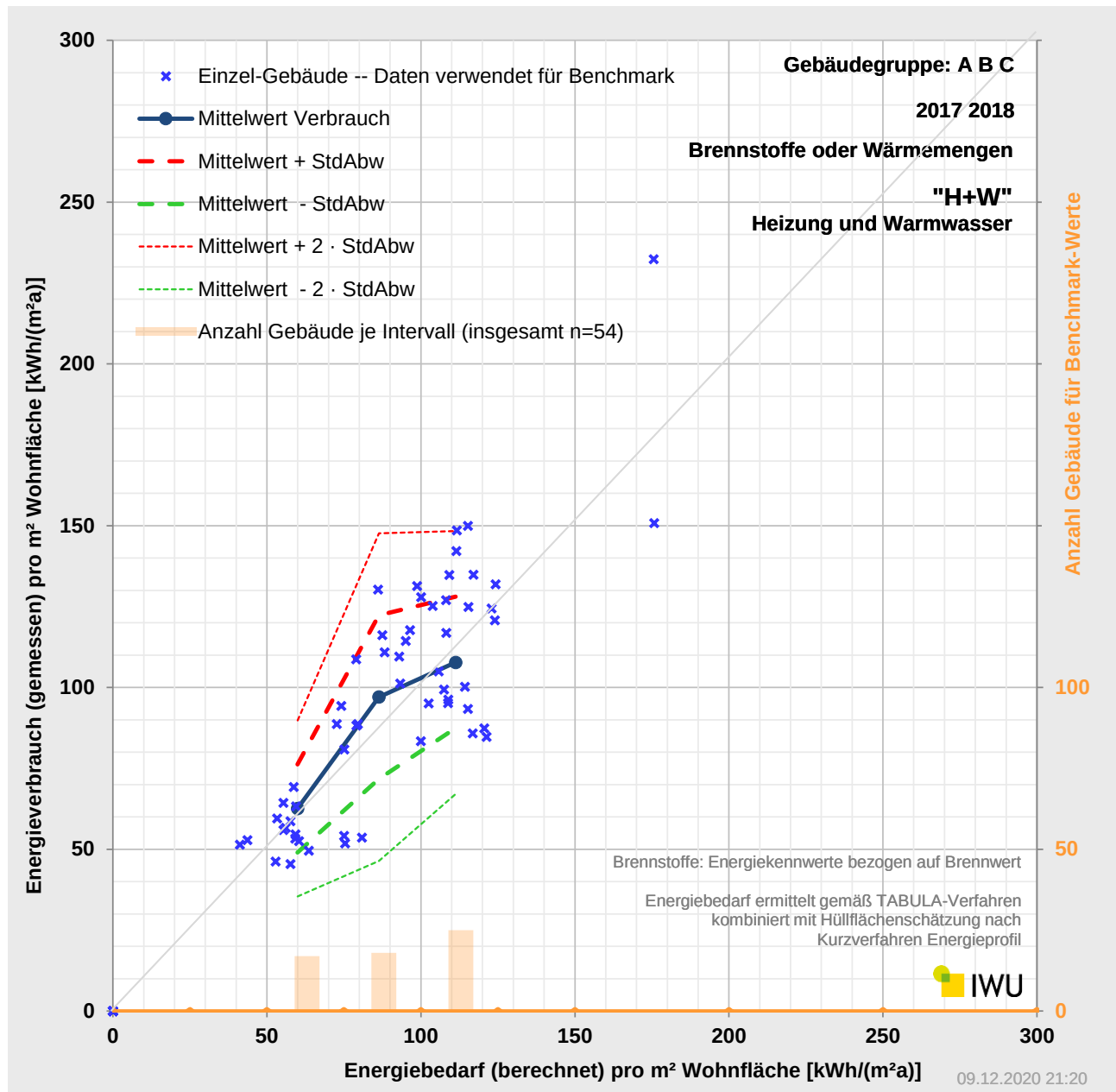
Weiterhin enthält das Diagramm am unteren Rand Säulen, die die Anzahl der in jeder Bedarfskategorie enthaltenen Datensätze darstellen – die Zahlen können auf der sekundären vertikalen Achse (rechte Seite) abgelesen werden.

Das Diagramm Bild 31 (a) enthält dabei die Wertepaare und Auswertungen der Verbrauchswerte für Heizung und Warmwasser, Bild 31 (b) die für Verbrauchswerte ohne Warmwasser. Die Mittelwerte des Verbrauchs je Kategorie werden im Folgenden auch als „Verbrauchsbenchmarks“ bezeichnet.

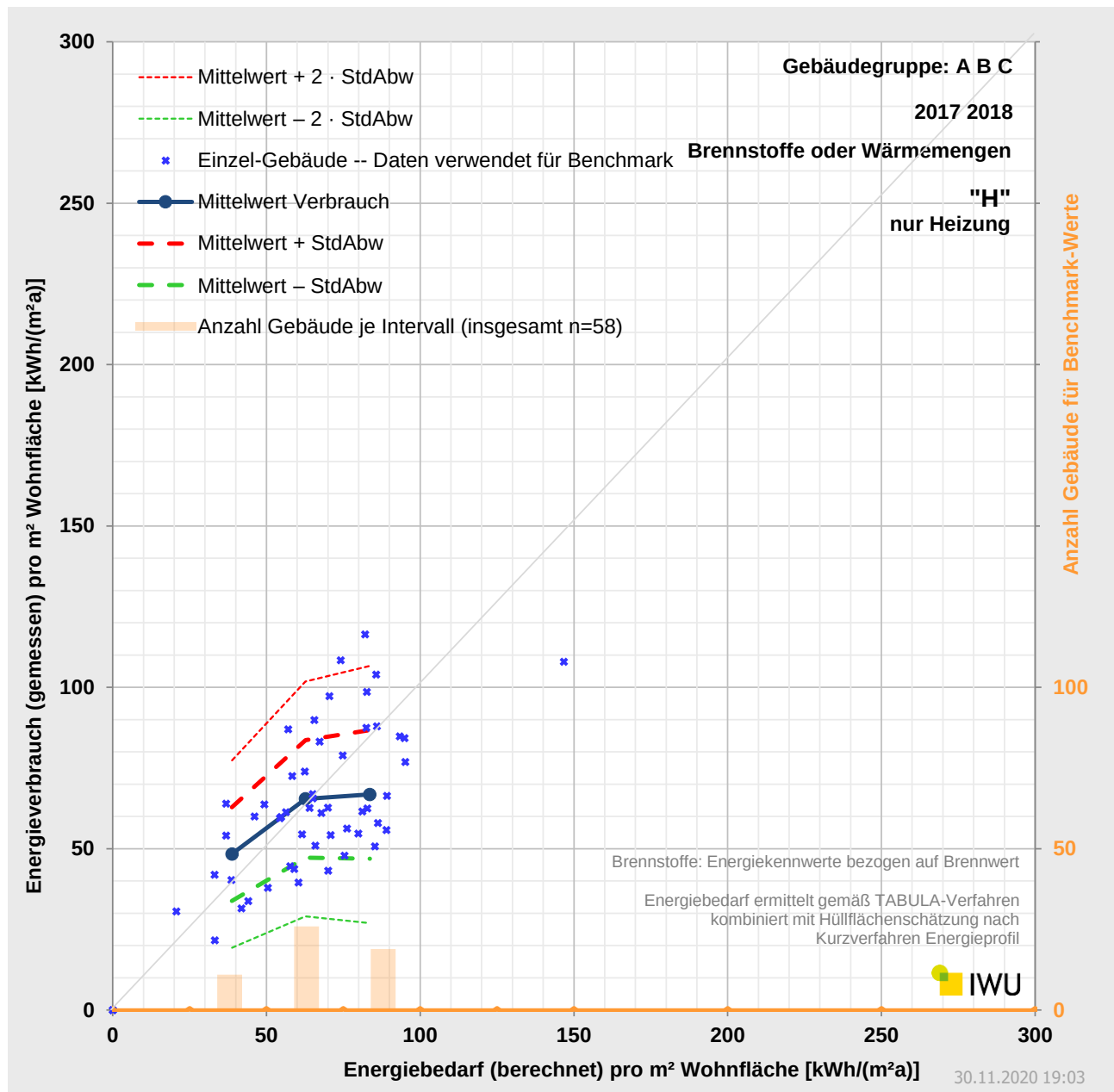
In beiden Diagrammen liegen die Werte grob im Bereich der Winkelhalbierenden. Für Heizung und Warmwasser (Bild 31 (a)) erscheint die Übereinstimmung besser als bei dem Vergleich ohne Warmwasser.

Bild 31: Zusammenhang zwischen gemessenem Verbrauch (Verbrauchsjahr 2017) und rechnerischem Bedarf für die Stichprobe (Gebäudegruppen A, B und C) / Energiekennwerte in diesen Diagrammen entsprechen denen aus Bild 27 und Bild 28; Werte bezogen auf die Wohnfläche (Arbeitsstand Dezember 2020)

(a) Vergleichsebene: „H+W“ – Heizung & Warmwasser



(b) Vergleichsebene: „H“ – nur Heizung



In Tab. 11 sind die in den beiden Diagrammen dargestellten Mittelwerte und Streuungen noch einmal als Zahlenwerte dargestellt. Neben den Mittelwerten des Bedarfs und des Verbrauchs ist auch das Verhältnis der beiden Mittelwerte angegeben. Für den gegebenen Energiebedarf eines Gebäudes könnte durch Multiplikation mit diesem „Kalibrierungsfaktor“ eine Verbesserung der Schätzung des Verbrauchs erreicht werden. Ideal wäre es, wenn diese Faktoren für alle Kategorien des Bedarfs bei 1,00 lägen, dann könnte die Realbilanzierung auch ohne Kalibrierung für die Schätzung des Energieverbrauchs verwendet werden.

In den Tabellen angegeben ist auch die "Modellunsicherheit", ein Maß für die Genauigkeit des Schätzverfahrens. Die Modellunsicherheit wird ermittelt, indem die Standardabweichung des Verbrauchs durch die Wurzel aus der Anzahl der Datensätze geteilt wird. Das Ergebnis bezogen auf den mittleren Verbrauch der Kategorie ist die „relative Modellunsicherheit“. Die Zahl gibt an, wie stark die Mittelwerte des Verbrauchs für eine Kategorie streuen würden, wenn aus dem Gebäudebestand eine größere Zahl von Stichproben mit jeweils gleichem Umfang gezogen würde (geschätzte Standardabweichung der Mittelwerte). Von den insgesamt 6 Kalibrierungsfaktoren (3 in $\langle H+W \rangle$, 3 in $\langle H \rangle$) liegt in drei Fällen der Zielwert 1,00 innerhalb der Modellunsicherheit, in drei Fällen außerhalb. Die weniger gute Übereinstimmung findet sich bei dem Bilanzraum „ $\langle H \rangle$ – nur Heizung“.

Für Überlegungen bezüglich einer Verbesserung der Realbilanzierung (Korrektur der besonders unsicheren Eingangsdaten) ist es jedoch noch zu früh. Durch Prüfung der auffälligen Gebäude (siehe oben, Abschnitt 5.3.1) könnten evtl. noch Fehler in den Monitoring-Indikatoren bzw. Modelleingangsdaten zu Tage treten, die zunächst korrigiert werden sollten, bevor aus den Analysen Schlüsse für das Realbilanzmodell gezogen werden.

Forschungsbedarf

- Es scheint plausibel anzunehmen, dass für eine große Stichprobe ähnlicher Gebäude die relative Streuung des Verbrauchs um den Schätzwert des Verbrauchs der relativen Unsicherheit der Realbilanzierung entspricht – dass also beide Dichtefunktionen im Idealfall gleich sind.²² Tatsächlich liegen die relativen Streuungen des Verbrauchs bei der Stichprobe für $\langle H+W \rangle$ etwa bei 20% und für $\langle H \rangle$ etwa bei 25% (siehe Tab. 11) und sind damit vergleichbar groß wie die Unsicherheiten der Bedarfsberechnung (siehe Tab. 10, Spalte „relative Unsicherheit Vergleichswert Bedarf“). Ob die Erwartung der Übereinstimmung im Idealfall korrekt ist und wie die Dichtefunktionen unter Realbedingungen zusammenhängen, sollte noch einmal genauer überprüft werden.

²² Anschaulich kann man sich das wie folgt erklären: Würde es gelingen die Gebäudeeigenschaften und die klimatischen Randbedingungen ideal (also exakt) abzubilden, bliebe in der Energiebilanzberechnung als einzige unsichere Größe das Nutzerverhalten. Bei idealer Abbildung der Variationsbreite des realen Nutzerverhaltens ergäbe sich so eine Variationsbreite des Energiebedarfs, die exakt gleich der Variationsbreite des bei einer größeren Gruppe (exakt) gleicher Gebäude (ideal) gemessenen Energieverbrauchs entsprechen würde. Die jedoch tatsächlich gegebene Unsicherheit bei der Modellierung des Gebäudes führt dazu, dass für die hypothetisch angenommenen gleichen Gebäude jeweils unterschiedliche thermische Eigenschaften diagnostiziert werden. Entsprechend erhöhen sich die aus Sicht der Einzelgebäude gegebenen Abweichungen zwischen dem Energieverbrauch und dem Energiebedarf.

Tab. 11: Mittelwerte des gemessenen Energieverbrauchs für Kategorien des berechneten Energiebedarfs (Vergleichswerte MOBASY Realbilanz)
(a) <H+W> – Heizung & Warmwasser

Mittelwerte des Verbrauchs für Kategorien des Bedarfs					<H+W> 2017 2018			
Brennstoffe oder Wärme für Heizung und Warmwasser (bei Brennstoffen bezogen auf Brennwert Hs)					Heizung und Warmwasser Gebäudegruppe: A B C			
Energiebedarf*		Stichprobe		gemessener Verbrauch, bezogen auf beheizte Wohnfläche				
bezogen auf beheizte Wohnfläche		Anzahl Gebäude	Wohnfläche	Mittelwert	Kalibrierungsfaktor: Verhältnis Verbrauch zu Bedarf			Streubreite** zugeordneter Verbrauch
Intervall	Mittelwert				Mittelwert	relative Modellunsicherheit***	relative Streubreite**	
kWh/(m²a)	kWh/(m²a)		m²	kWh/(m²a)				kWh/(m²a)
1 ... 25	-	-	-	-	-	-	-	-
26 ... 50	-	-	-	-	-	-	-	-
51 ... 75	60	n=15	21.424	63	1,04	±6%	±14%	± 14
76 ... 100	86	n=16	30.498	97	1,12	±7%	±22%	± 25
101 ... 125	111	n=23	28.085	108	0,97	±4%	±20%	± 20
126 ... 150	-	-	-	-	-	-	-	-
151 ... 200	-	-	-	-	-	-	-	-
201 ... 250	-	-	-	-	-	-	-	-
251 ... 300	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe		n=54	80.007					

*) Endenergiebedarf ermittelt gemäß MOBASY-Realbilanz

**) „Streubreite“ = Standardabweichung

***) relative „Modellunsicherheit“ des Mittelwertes = Standardabweichung / Wurzel (n), bezogen auf den Mittelwert

(b) <H> – nur Heizung

Mittelwerte des Verbrauchs für Kategorien des Bedarfs					<H> 2017 2018			
Brennstoffe oder Wärme für Heizung (bei Brennstoffen bezogen auf Brennwert Hs)					nur Heizung Gebäudegruppe: A B C			
Energiebedarf*		Stichprobe		gemessener Verbrauch, bezogen auf beheizte Wohnfläche				
bezogen auf beheizte Wohnfläche		Anzahl Gebäude	Wohnfläche	Mittelwert	Kalibrierungsfaktor: Verhältnis Verbrauch zu Bedarf			Streubreite** zugeordneter Verbrauch
Intervall	Mittelwert				Mittelwert	relative Modellunsicherheit***	relative Streubreite**	
kWh/(m²a)	kWh/(m²a)		m²	kWh/(m²a)				kWh/(m²a)
1 ... 25	-	-	-	-	-	-	-	-
26 ... 50	39	n=9	12.033	48	1,25	±10%	±28%	± 15
51 ... 75	63	n=24	39.749	65	1,04	±6%	±24%	± 18
76 ... 100	84	n=17	17.676	67	0,80	±7%	±29%	± 20
101 ... 125	111	n=23	28.085	108	0,97	±4%	±20%	± 20
126 ... 150	-	-	-	-	-	-	-	-
151 ... 200	-	-	-	-	-	-	-	-
201 ... 250	-	-	-	-	-	-	-	-
251 ... 300	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe		n=50	69.458					

*) Endenergiebedarf ermittelt gemäß MOBASY-Realbilanz

**) „Streubreite“ = Standardabweichung

***) relative „Modellunsicherheit“ des Mittelwertes = Standardabweichung / Wurzel (n), bezogen auf den Mittelwert

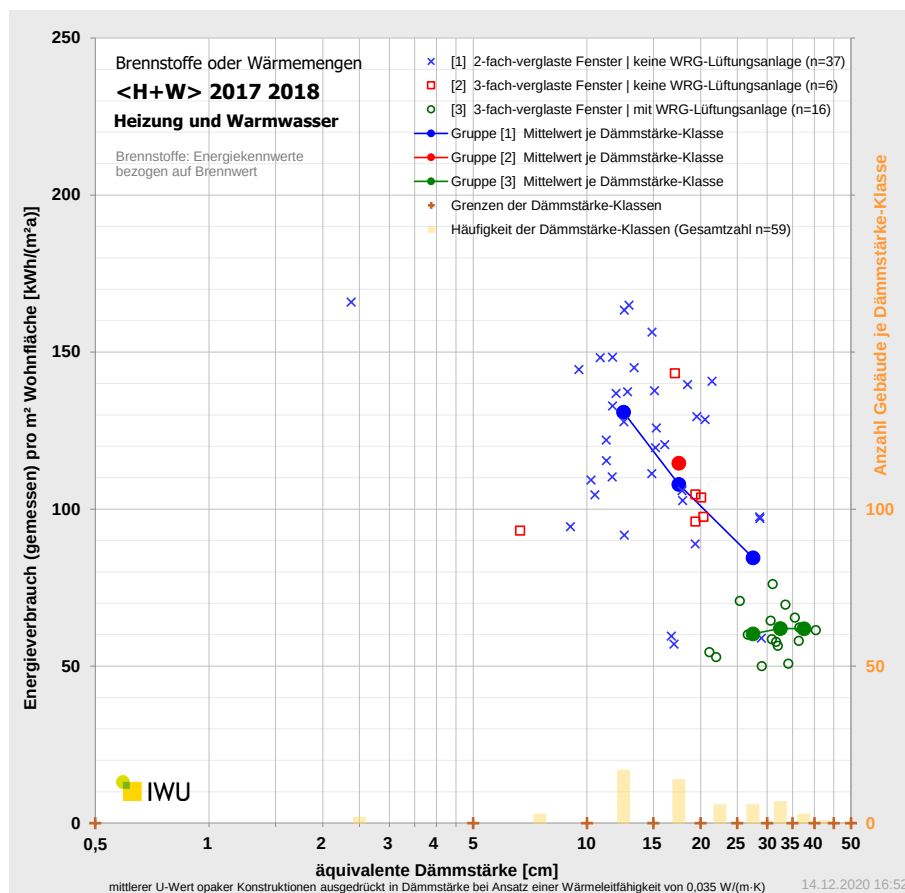
5.5 Energieverbrauch in Abhängigkeit von Zustandsparametern

In Bild 32 ist der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser über der äquivalenten Dämmstärke aufgetragen – also die Übersetzung des mittleren U-Wertes der opaken Konstruktionen (Dach, oberste Geschossdecke, Außenwand, Kellerdecke) in eine mittlere Dämmstärke bei Ansatz einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K). Dabei werden in einer jeweils eigenen Gruppe solche Gebäude betrachtet, die eine Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung oder eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder beides haben. Die Abbildung zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem gemessenen Energieverbrauch und dem Dämmstandard, allerdings liefert die Differenzierung nach Fenstertyp und Lüftungsanlage auf Grund der geringen Anzahl von Gebäuden noch keine belastbare bzw. plausible Aussage. Weiterhin verursacht natürlich die je Gebäude unterschiedliche Kubatur bzw. Hüllfläche eine deutliche Streuung dieser Werte, die nur durch eine Differenzierung nach Hüllflächen-Kategorie (Hüllfläche je m² Wohnfläche) verringert werden könnte. Für eine solche weitere Unterteilung ist die Gebäudesammlung allerdings derzeit nicht groß genug.

Bild 32: Verbrauchsbenchmarks für Kategorien der „äquivalenten Dämmstärke“

Verbrauchskennwerte aufgetragen über der äquivalenten Dämmstärke der opaken Bauteile = mittlerer U-Wert opaker Konstruktionen ausgedrückt in Dämmstärke bei Ansatz einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K) und einem Ausgangs-U-Wert des ungedämmten Bauteils von 1,5 W/(m²K)

Datenpunkte (gruppiert nach Art der Fenster und Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) und Mittelwerte (Verbrauchsbenchmarks abhängig von Dämmstärke und anderen Merkmalen)



Eine weitere Möglichkeit der Parametrisierung der energetischen Gebäudequalität ist die Verwendung des „Wärmeleitwerts“ pro m^2 Wohnfläche, also die temperatur- und wohnflächenbezogenen Transmissions- und Lüftungswärmeverluste, die aus den Monitoring-Indikatoren ermittelt werden. In den Transmissionswärmeleitwert geht je Bauteil das Produkt aus U-Wert, Fläche und Reduktionsfaktor ein (für opake Bauteile und Fenster), beim Lüftungswärmeleitwert wirkt sich eine ggf. vorhandene Wärmerückgewinnung mindernd aus. Da hier im Gegensatz zu Bild 32 neben der Dämmqualität auch die Fläche der Hülle in den Klassifizierungsparameter eingeht, ist eine geringere Streuung zu erwarten. Bild 33 zeigt, dass dies tatsächlich auch für die Stichprobe zutrifft. Nach derzeitigem Stand scheint es so, dass sich diese Parametrisierung im Prinzip gut für die Präsentation vereinfachter Verbrauchsbenchmarks eignen würde – wobei bei Ausweitung der Gebäudesammlung Fälle mit thermischen Solaranlagen gesondert ausgewiesen werden müssten. Ein Nachteil ist, dass der Wärmeleitwert bzw. der Wärmetransferkoeffizient Transmission und Lüftung pro m^2 eine eher abstrakte Größe ist, die für Nicht-Fachleute ohne Berechnung oder Beispiele schwer kommunizierbar ist. Um zu erreichen, dass solche nach dem Wärmeleitwert differenzierten Verbrauchsbenchmarks tatsächlich als Vergleichswerte von Nicht-Experten herangezogen werden, müsste ein einfaches Rechenschema bereitstehen (z.B. Online-Tool auf der Grundlage der ersten Seite des Energieprofil-Fragebogens), mit Hilfe dessen man schnell eine Einstufung der Hüll-effizienz eines konkreten Gebäudes vornehmen könnte – gegebenenfalls über die Definition von Energieklassen A, B, C, ... für die Gebäudehülle.

Man könnte die Klassifizierung etwas anschaulicher machen, in dem man den Wärmeleitwert mit einer Temperaturdifferenz von beispielsweise 30 Kelvin multipliziert, wodurch sich als Parameter die in Bild 34 dargestellten Werte für die „maximalen Hüllwärmeverluste“ pro m^2 Wohnfläche ergeben.²³

Insgesamt liefern die hier dargestellten Analysen erste Ergebnisse, die – vorbehaltlich einer Prüfung der auffälligen Gebäude“ als Vergleichswerte oder Benchmarks in Wohnungsunternehmen dienen können, allerdings ist die Aussagekraft auf Grund der geringen Fallzahlen noch nicht groß und in einigen für den Gebäudebestand typischen Kategorien liegen noch gar keine Zahlenwerte vor.

Für die Anwendung in der Praxis bieten die hier dargestellten Benchmarks den Vorteil, dass die Ermittlung des Wärmeleitwerts sehr viel einfacher ist als die komplette Realbilanzierung. Wird z.B. eine Modernisierungsplanung durchgeführt, so kann die Zahl direkt dem GEG-Nachweis entnommen werden (sie hängt nur geringfügig vom Berechnungsverfahren ab). Auch einfache Schemata auf der Basis von typischen Hüllflächen pro m^2 für unterschiedliche Gebäudeformen könnten zusammen mit Angaben zur Dämmstärke und Fensterqualität eine einfache Einordnung des eigenen Verbrauchs im Vergleich zur Statistik ermöglichen (z.B. im Rahmen der Verbraucherberatung).

²³ Im Prinzip könnte man diese Wärmeverluste an extremen Wintertagen auch als vereinfacht ermittelte „Heizlast“ bezeichnen. Die Verwendung im Kontext von Verbrauchsbenchmarks wäre aber evtl. irreführend, da es sich nicht um das Ergebnis einer Heizlastberechnung für die Auslegung des Wärmeerzeugers und auch nicht um die Messung der maximalen Leistung handelt. Der Begriff Heizlast fokussiert auf die Wärmezufuhr, während es eigentlich um die Charakterisierung der Wärmeverlustfläche und ihres Wärmedurchgangs geht.

Bild 33: Verbrauchsbenchmarks für Kategorien des „Wärmeleitwerts Gebäude“
(temperaturbezogene Wärmeverluste Transmission und Lüftung pro m² Wohnfläche)
Datenpunkte (differenziert nach Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) und Mittelwerte (Verbrauchsbenchmarks abhängig vom „Wärmeleitwert Gebäude“)

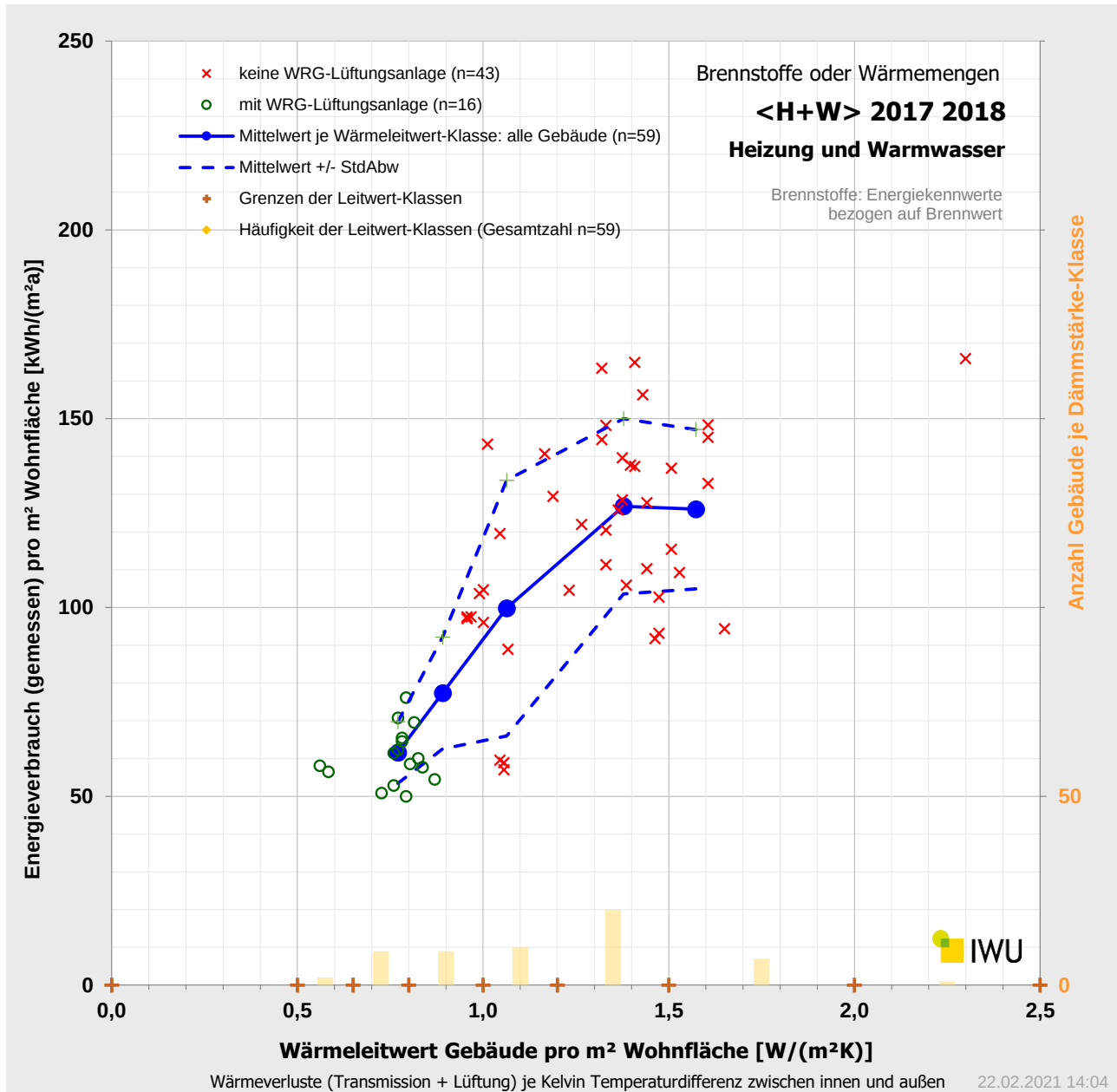
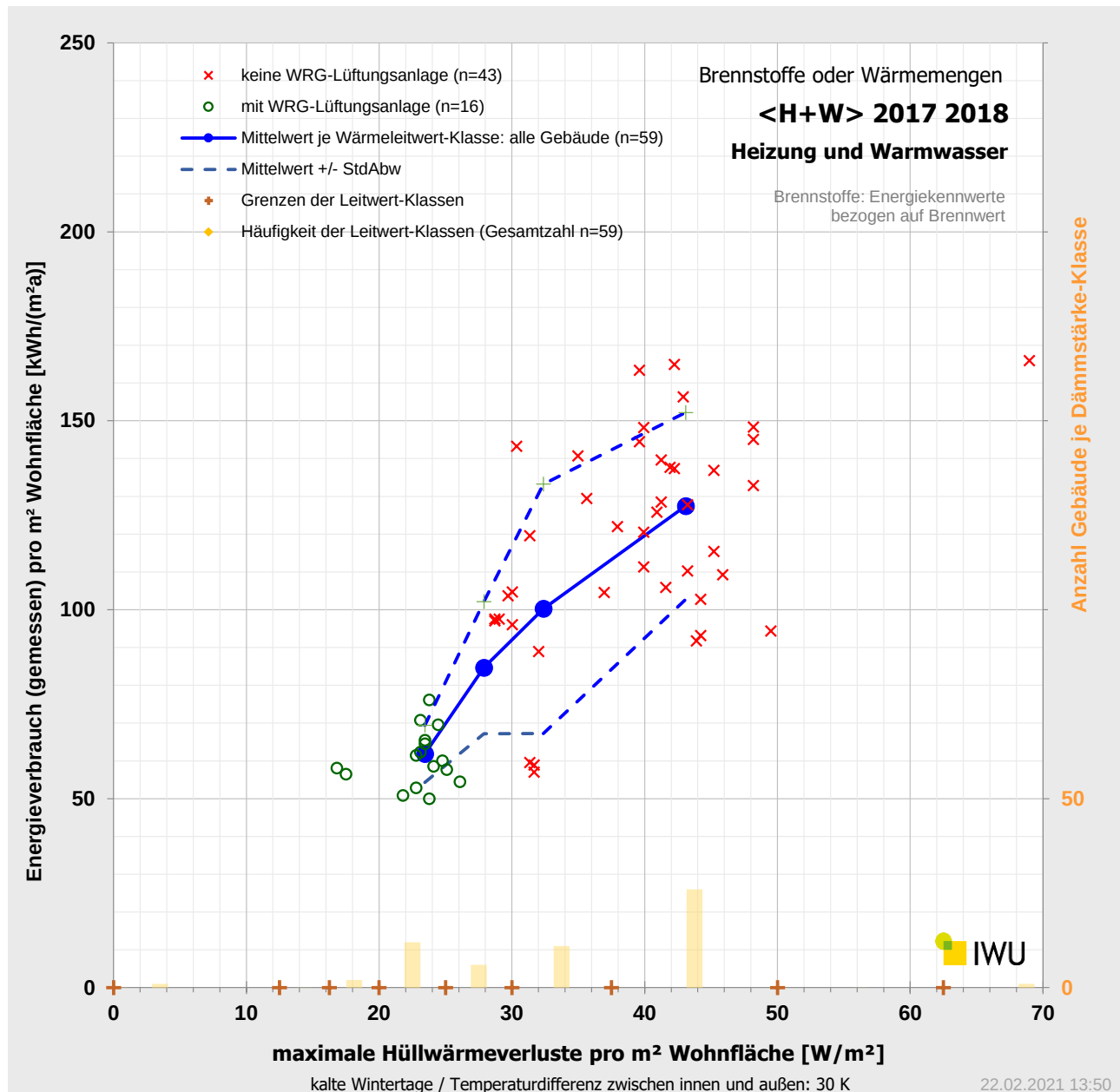


Bild 34: Verbrauchsbenchmarks für Kategorien der „maximalen Hüllwärmeverluste“
 (Wärmeverluste Transmission und Lüftung pro m² Wohnfläche bei 30 K Temperaturdifferenz)
 Datenpunkte (differenziert nach Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) und Mittelwerte (Verbrauchsbenchmarks abhängig von der Gebäudeheizlast)



6 Resümee und Ausblick

Es wurde eine Systematik für ein Energieverbrauchscontrolling in Wohnungsunternehmen entwickelt sowie modellhaft für Teile des energetisch modernisierten Bestands von drei Unternehmen umgesetzt. Auf Basis der in einer Monitoring-Tabelle enthaltenen Grund- und Zustandsdaten (Energieprofil-Daten) wurden für alle Objekte Energiebilanzberechnungen durchgeführt, die je Gebäude einen Vergleichswert mit Unsicherheitsspanne liefern. Innerhalb einer Soll-Ist-Analyse wird der gemessene Verbrauch jeweils mit diesem Intervall verglichen.

Für die Energiebilanz im Verbrauchscontrolling ist eine realitätsbezogene Berechnung auf Basis der Aktenlage in den Unternehmen erforderlich. Bei unsicherer Datenlage (z.B. Unklarheit, ob die oberste Geschossdecke eines Gebäudes in der Vergangenheit irgendwann gedämmt wurde) erhöht die Spanne der möglichen energetischen Zustände der Komponente die Unsicherheit des berechneten Energiebedarfs. Für die Ermittlung der Vergleichswerte des Energiebedarfs werden also für alle Eingabedaten innerhalb der möglichen Spannen jeweils die mittleren Zustände für die Energieberechnung angesetzt. Gleichzeitig bestimmen die für alle Eingangsdaten angesetzten Spannen die Gesamtunsicherheit des Energiebedarfs (Vergleichsintervall bei der Soll-Ist-Analyse). Dies gilt sowohl für die Zustandsdaten des Gebäudes als auch für die Nutzungs- und Klimarandbedingungen der Berechnung.

Bei der Anwendung auf ca. 130 Gebäudeblöcke der drei Wohnungsunternehmen mit etwa 2900 Wohnungen zeigte sich, dass die Mehrzahl der Verbrauchswerte innerhalb des durch die Realbilanzierung ermittelten Erwartungsintervalls liegt. Die außerhalb liegenden Verbrauchswerte wurden identifiziert und sollen nun einer näheren Überprüfung unterzogen werden. Dabei wird zunächst versucht, die Zustands- und Verbrauchsdaten zu verifizieren und gegebenenfalls zu korrigieren. Für die Gebäude, deren Verbrauchswerte weiterhin auffällig sind, sollen Begehungen vor Ort vorgenommen werden, wobei neben dem energetischen Zustand von Gebäude und Anlagentechnik auch die Betriebsführung der Heizungsanlage überprüft werden soll.

Die in dem vorliegenden Bericht dargestellten Ergebnisse stellen einen Zwischenstand innerhalb des MOBASY-Projekts dar. Insgesamt konnten mit den bereits durchgeführten Arbeiten die Teilziele des Projekts in Hinblick auf die realistische Bilanzierung und die Anwendung bei der energetischen Bewertung und beim Verbrauchscontrolling erreicht werden.

Bei der Weiterentwicklung und breiteren Anwendung des Verfahrens sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Pauschalwerte und Unsicherheiten wurden für die Klimadaten, für die Hüllfläche und für den Wärmeschutz ermittelt bzw. verifiziert. Eine Überprüfung und ggf. Verbesserung der verwendeten Ansätze steht noch für die Bereiche Wärmebrücken und Anlagentechnik sowie für Teile der Nutzungsdaten aus.
- Der Fokus im MOBASY-Projekt liegt auf dem Verbrauchscontrolling für modernisierte Gebäude. Neben diesem Aspekt kann das entwickelte Verfahren aber auch dazu beitragen, nach dem energetischen Zustand differenzierte Verbrauchsbenchmarks für Geschosswohnbauten im Unternehmen oder auch unternehmensübergreifend bereitzustellen, die sowohl für die Weiterentwicklung der Modernisierungsstrategien, die Beurteilung der Nebenkosten für die Mieter, aber auch für umweltbezogene Nachweise wie zum Beispiel Nachhaltigkeitsberichte verwendet werden könnten. Um nach Zustand differenzierte Verbrauchsbenchmarks für die ganze Bandbreite der energetischen Qualität erstellen zu können, müssen in der Gebäudesammlung auch unsanierte Gebäude enthalten sein. Es wäre daher sehr lohnenswert, wenn noch innerhalb des MOBASY-Projekts entsprechende Gebäude-Datensätze (Zustand + Verbrauch) aus den Unternehmen bereitgestellt werden könnten. Damit könnte die Validität der Realbilanzierung auch für unsanierte Gebäude überprüft werden und bei gravierenden Diskrepanzen gegebenenfalls passende Korrekturen abgeleitet werden.

- Die Werte für die Basis-Monitoring-Indikatoren (Gebäudegrunddaten, Wärmeschutz, Kategorisierung Anlagentechnik) wurden teilweise aus unterschiedlichsten Informationsquellen in den Unternehmen zusammengetragen. Entsprechend gibt es bei einigen Indikatoren für einen (kleineren) Teil der Gebäudesammlung noch Lücken. Ausgehend von dieser Erkenntnis scheint es sinnvoll zu überlegen, wie die Indikatoren in Zukunft in unternehmensinternen Abläufen erfasst und dauerhaft gepflegt werden könnten – dies betrifft vor allem das Festhalten von Informationen im Kontext von Modernisierungen. Um dies voranzubringen, wäre eine unmittelbare Nutzung der Monitoring-Indikatoren sinnvoll. Eine solche Anwendung könnte die Ermittlung des jährlichen Modernisierungsfortschritts bzw. der jährlichen Wärmeschutz-Modernisierungsrate sein und der Vergleich mit dem auf Bundesebene ermittelten Wert. Die Entwicklung und Anwendung einer solchen Methodik basierend auf dem MOBASY-Indikatorensatz wäre daher sicher ein sinnvoller nächster Schritt.
- Neben dem Zustands- und Verbrauchsmonitoring umfasst das strategische Energiemanagement in Wohnungsunternehmen auch die Definition von Klimaschutz-Zielstandards, die Entwicklung von Szenarien für die Optimierung der Modernisierungsstrategien sowie die Verifizierung der langfristigen Treibhausgas-Minderungsstrategie („Emissions-Controlling“). Die realistische energetische Bilanzierung und der systematische Verbrauch-Bedarf-Vergleich stellen eine wichtige Grundlage für diese Aufgaben dar. Darauf aufbauend können nun Überlegungen angestellt werden, wie die Schritte zur praktischen Umsetzung der genannten Bausteine aussehen sollen.

+++ ANHANG +++

Anhang A – Literatur-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

A.1 Literaturverzeichnis

- [Cischinsky / Diefenbach 2018] Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus: Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016; IWU, Darmstadt 2018.
www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Endbericht_Datenerhebung_Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf
- [Diefenbach et al. 2010] Diefenbach, Nikolaus (IWU); Cischinsky, Holger (IWU); Rodenfels, Markus (IWU); Clausnitzer, Klaus-Dieter (Bremer Energie Institut): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2010
www.iwu.de/forschung/gebaeudebestand/sanierungsrate/
- [Diefenbach et al. 2016] Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias; Stein, Britta (ed.): Application of Energy Performance Indicators for Residential Building Stocks. Experiences of the EPISCOPE project; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, March 2016
www.episcope.eu/fileadmin/episcope/public/docs/reports/EPISCOPE_Indicators_ConceptAndExperiences.pdf
- [Eicke-Hennig 2011] Eicke-Hennig: Kleine Geschichte der Dämmstoffe; erster und zweiter Teil; wksb65/2011 und wksb 66/2011
www.energiesparaktion.de/downloads/Kacheln/Energieeinsparung/Geschichte_Daemmung.pdf
- [EnEV-Bkm Daten WGB 2015] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand,“ Berlin, vom 7. April 2015.
- [Hörner et al. 2016] Hörner, Michael; Cischinsky, Holger; Lichtmeß, Markus: Analyse der Diskrepanz von Energiebedarf und -verbrauch bei Energiepässen von Wohngebäuden in Luxemburg; Teil 1: Methode der multiplen linearen Regression; Bauphysik 38 (2016). Heft 3
- [Kehl 2000] Kehl, Daniel: Energetische Klassifizierung von Fenstern. Quantifizierung von Wärmebrücken für typische Fenster und Einbausituationen; IWU, Darmstadt 2000
www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/klima_altbau/2000_IWU_Kehl_Energetische-Klassifizierung-von-Fenstern.pdf
- [KV Energieprofil 2005] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden („Kurzverfahren Energieprofil“); Untersuchung gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; IWU, Darmstadt 2005
www.iwu.de/forschung/energie/kurzverfahren-energieprofil/
- [Loga / Stein 2020] Loga, Tobias; Stein, Britta: Prognose des Heizenergieverbrauchs von Wohngebäuden auf Basis des EnEV-Nachweises. Tagungsband der EffizienzTagung Bauen + Modernisieren; 13. und 14. November 2020; Hannover 2020
- [Loga et al. 2019] Loga, Tobias; Stein, Britta; Hacke, Ulrike; Müller, André; Großklos, Marc; Born, Rolf; Renz, Ina; Cischinsky, Holger; Hörner, Michael; Weber, Ines: Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen; Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); BBSR-Online-Publikation 04/2019; Bonn, März 2019 / ISSN 1868-0097 /
www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2019/bbsr-online-04-2019-dl.pdf

- [Loga et al. 2020a] Loga, Tobias; Swiderek, Stefan; Grafe, Michael: Modellprojekt Energieverbrauchsbenchmarks. Soll-/Ist-Vergleich des Energieverbrauchs zur Evaluierung und Steigerung der Effizienz von Energiesparmaßnahmen im Praxisalltag eines Wohnungsunternehmens; Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt 2020; ISBN: 978-3-941140-65-3
www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebäudebestand/pri/2019_IWU_LogasWiderekGrafe_ModellprojektEnergieverbrauchsbenchmarks_NHW.pdf
- [Loga et al. 2020b] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Landgraf, Katrin: MOBASY-Teilbericht Klimadaten für die Realbilanzierung. Grundlagen des Tools „Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx“; IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2020; ISBN: 978-3-941140-66-0;
www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2020_IWU_LogasGrossklosLandgraf_MOBASYTeilberichtKlimadatenRealbilanzierung.pdf
- [Loga et al. 2020c] Loga, Tobias; Repp, Monika; Swiderek, Stefan: Verbrauchsbenchmarks – ein Soll-Ist-Vergleich für Wohnungsunternehmen. Tagungsband der EffizienzTagung Bauen + Modernisieren; 13. und 14. November 2020; Hannover 2020
- [Renhof 2018] Renhof, Moritz: Ermittlung von realistischen U-Werten und Wärmebrückenzuschlägen für Wohngebäude im Bestand; Masterarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar / Fakultät Bauingenieurwesen / Studiengang Bauphysik und energetische Gebäudeoptimierung / Prof. Dr.-Ing. Conrad Völker; Weimar 2018
- [TABULA Calc Method 2013] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus: TABULA Calculation Method – Energy Use for Heating and Domestic Hot Water. Reference Calculation and Adaptation to the Typical Level of Measured Consumption; TABULA documentation; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt / Germany – January 2013; ISBN 978-3-941140-31-8
www.episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_CommonCalculationMethod.pdf
- [TABULA Data Eval 2015] Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Reifschläger, Kerstin; Stein, Britta: Evaluation of the TABULA Database – Comparison of Typical Buildings and Heat Supply Systems from 20 European Countries; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt / Germany 2015
www.episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_WorkReport_EvaluationDatabase.pdf
- [Toolbox 2001] Loga, Tobias; Born, Rolf; Großklos, Marc; Bially, Matthias: Energiebilanz-Toolbox. Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung / Warmwasser; IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2001
www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/ephw-toolbox.pdf
- [VFF / BF 2017] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF) & Bundesverband Flachglas (BF): Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern. Aktualisierung September 2017 der Studie „Im neuen Licht: Energetische Modernisierung von alten Fenstern“; Frankfurt am Main / Troisdorf 2017
www.window.de/fileadmin/redaktion_window/vff/docs_und_pdf/VFF-BF_Studie_Mehr_Energie_sparen_mit_neuen_Fenstern_2017-09.pdf
- [WG-Typologie-DE 2015] Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf: Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden; Broschüre erarbeitet im Rahmen der EU-Projekte TABULA und EPISCOPE; 2. erweiterte Auflage; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015
www.episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf

A.2 Abbildungsverzeichnis

- Bild 1: Erfassungsbogen Gebäude (Energieprofil-Zustandsindikatoren) Screenshot aus dem EnergyProfile-Tool 11

Bild 2:	Erfassungsbogen Anlagentechnik (Energieprofil-Zustandsindikatoren) Screenshot aus dem EnergyProfile-Tool	12
Bild 3:	Ausschnitt der Gebäudetabelle mit Basis-Monitoring-Indikatoren (Excel-Tabelle) Screenshot aus dem EnergyProfile-Tool	13
Bild 4:	Schema für das zweistufige Vorgehen bei der energetischen Bilanzierung auf der Basis von Monitoring-Indikatoren (Energieprofil-Variablen)	15
Bild 5:	Einflüsse auf die Unsicherheit der Modellierung von Energieströmen in einem Gebäude	17
Bild 6:	Einstellungen für die Art der Datenquellen	18
Bild 7:	Beispiele für die Einstufung der Unsicherheit im Fall des Rechenwertes für die Dämmstärke eines Bauteils (so angewendet für Dach, oberste Geschossdecke, Außenwand und Fußboden) Unsicherheitsklassen A, B, C, D, E in Abhängigkeit von der Einstufung der Art der Datenquelle und der Vollständigkeit der relevanten Variablen (Dämmstärke und Jahr der Dämmung) (siehe Rechenregel RR 30 im Anhang D.4.2)	19
Bild 8:	Erfassungsbogen Energieverbrauch	21
Bild 9:	Auswerteprofile für den Verbrauch (Einstellungen für das Berechnungsbeispiel)	22
Bild 10:	Darstellung der Zuordnung von Verbrauch und Bedarf für das Beispielgebäude Die als Spannen dargestellten Unsicherheiten der Berechnung werden im folgenden Abschnitt 2.5, die Kalibrierungsregeln für die Vergleich-Bedarfswerte in Abschnitt 2.6 und die relativen Abweichungen als Maß für die Auffälligkeit in Abschnitt 2.7 erläutert. (Die Säulen „kalibriert auf typ. Verbrauchsniveau“ sind hier nicht belegt, da die Kalibrierung bei der Realbilanzierung derzeit nicht angewendet wird.)	23
Bild 11:	Grundkonzept der hier vorgestellten Realbilanzierung für ein Gebäude Auf Basis der (empirisch ermittelten, notfalls geschätzten) mittleren Zustände innerhalb der jeweils in Frage kommenden Spannen wird die Energiebilanz berechnet. Parallel wird die Wirkung der möglichen Spannen bzw. Unsicherheiten auf die Unsicherheit des Energiebedarfs abgeschätzt.....	24
Bild 12:	U-Werte aus Gebäude- und Bauteiltypologien / Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen je Baualtersklasse und Vergleich mit den Pauschalwerten nach EnEV-Bekanntmachungen Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analyse und Darstellung.....	35
Bild 13:	Auszug aus dem Energieprofil-Fragebogen, Blatt „Einstellungen“ („Form.Settings“) – Schema der Erfassung der Datenquellen	44
Bild 14:	Beispiele für die Veränderung der Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation (a) der Dämmstärke $d_{\text{Insulation}}$ und (b) des Flächenanteils der Dämmung unterer Diagrammbereich: U-Wert (durchgezogene Linie, orange) und Unsicherheit absolut (gestrichelt, grün und rot) / oberer Diagrammbereich (gepunktet, blau): relative Unsicherheit	45
Bild 15:	Erfassungsbogen Gebäude (Energieprofil-Zustandsindikatoren)	51
Bild 16:	Erfassungsbogen Anlagentechnik (Energieprofil-Zustandsindikatoren) (ausgegraute Kästchen: keine Angaben / unbekannt)	52
Bild 17:	Erfassungsbogen Energieverbrauch (Energieprofil-Verbrauchsindikatoren)	53
Bild 18:	Energiebilanz Gebäude (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)	54
Bild 19:	Energiebilanz Wärmeversorgung (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)	55
Bild 20:	Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H+W“ (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)	56
Bild 21:	Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H“ (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)	57
Bild 22:	Ermittlung der Unsicherheit der U-Werte opaker Konstruktionen	58
Bild 23:	Ermittlung der Unsicherheit des Endenergiebedarfs (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)	59
Bild 24:	Energiebilanz Heizwärme und Endenergie (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)	60
Bild 25:	Verbrauchswerte und Vergleichswerte Bedarf (Kennwerte bezogen auf die TABULA-Referenzfläche)	61
Bild 26:	Beispielhafte Erläuterung der Einordnung der Einzelgebäude-Ergebnisse (Bild 27 / Bild 28)	63

Bild 27:	(nächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H+W“ – Heizung & Warmwasser aufsteigend sortiert nach Bedarf (Vergleichswert)	63
Bild 28:	(übernächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H“ – nur Heizung aufsteigend sortiert nach Bedarf (Vergleichswert)	63
Bild 29:	Sortierung nach dem Indikator für „Auffälligkeit“: „H+W“ (Daten entsprechen Bild 27) (nächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H+W“ – Heizung & Warmwasser	69
Bild 30:	Sortierung nach dem Indikator für „Auffälligkeit“: „H“ (Daten entsprechen Bild 28) (übernächste Seite) VB-Vergleich Einzelgebäude „H“ – nur Heizung	69
Bild 31:	Zusammenhang zwischen gemessenem Verbrauch (Verbrauchsjahr 2017) und rechnerischem Bedarf für die Stichprobe (Gebäudegruppen A, B und C) / Energiekennwerte in diesen Diagrammen entsprechen denen aus Bild 27 und Bild 28; Werte bezogen auf die Wohnfläche (Arbeitsstand Dezember 2020)	74
Bild 32:	Verbrauchsbenchmarks für Kategorien der „äquivalenten Dämmstärke“ Verbrauchskennwerte aufgetragen über der äquivalenten Dämmstärke der opaken Bauteile = mittlerer U-Wert opaker Konstruktionen ausgedrückt in Dämmstärke bei Ansatz einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K) und einem Ausgangs-U-Wert des ungedämmten Bauteils von 1,5 W/(m²K)	78
Bild 33:	Verbrauchsbenchmarks für Kategorien des „Wärmeleitwerts Gebäude“ (temperaturbezogene Wärmeverluste Transmission und Lüftung pro m² Wohnfläche)	80
Bild 34:	Verbrauchsbenchmarks für Kategorien der „maximalen Hüllwärmeverluste“ (Wärmeverluste Transmission und Lüftung pro m² Wohnfläche bei 30 K Temperaturdifferenz)	81
Bild 35:	Schema des „EnergyProfile“-Tools	103
Bild 36:	Erfassung Gebäude (Energieprofil-ZustandsIndikatoren)	104
Bild 37:	Erfassung Anlagentechnik (Energieprofil-ZustandsIndikatoren)	105
Bild 38:	Erfassung Energieverbrauch	106
Bild 39:	Zusatz-Informationen / Experten-Eingaben	107
Bild 40:	Alternative Eingabe von Flächen und U-Werten	108
Bild 41:	Einstellungen Datenquellen	109
Bild 42:	Einstellungen für die Berechnung / Bibliotheken	110
Bild 43:	Einstellungen für die Berechnung / Nutzungsdaten	111
Bild 44:	Einstellungen zum Verbrauch-Bedarf-Vergleich	112
Bild 45:	Parameter der Hüllflächenschätzung – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	113
Bild 46:	Schätzung der Hüllfläche – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	114
Bild 47:	U-Wert-Schätzung – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	115
Bild 48:	Energiebilanz Gebäude – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	116
Bild 49:	Energiebilanz Wärmeversorgung – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	117
Bild 50:	Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H+W“ – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	118
Bild 51:	Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H“ – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	119
Bild 52:	Unsicherheit U-Werte – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	120
Bild 53:	Unsicherheit Energiebilanz – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude	121
Bild 54:	Energiebilanz Heizwärme und Endenergie / Beispielgebäude	122
Bild 55:	Verbrauchswerte und Vergleichswerte Bedarf / Beispielgebäude	123
Bild 56:	Überblick über die wichtigsten Monitoring-Indikatoren, Modelleingangsvariablen, Bilanzierungsergebnisse und den Verbrauch-Bedarf-Vergleich	124
Bild 57:	U-Werte für Dachkonstruktionen aus Holz differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	126

Bild 58:	U-Werte für massive Dachkonstruktionen differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	126
Bild 59:	U-Werte für hölzerne oberste Geschossdecken differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	128
Bild 60:	U-Werte für massive oberste Geschossdecken differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	128
Bild 61:	U-Werte für massive, einschalige Wandkonstruktionen mit 20 bis 30 cm Stärke differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	130
Bild 62:	U-Werte für zweischalige Wandkonstruktionen differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	130
Bild 63:	U-Werte für Wandkonstruktionen aus gelochten / porösen Steinen differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	131
Bild 64:	U-Werte für Fachwerkwände mit Lehmausfachungen differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	131
Bild 65:	U-Werte für Kellerdecken aus Stahlbeton differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	133
Bild 66:	U-Werte für Kellerdecken mit Ziegel-/Hohlsteinen differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	133
Bild 67:	U-Werte für Kellerdecken in Holzbauweise differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]	134
Bild 68:	Übersicht über die U-Werte aus Gebäude- und Bauteiltypologien / Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen je Baualtersklasse / Vergleich mit den Pauschalwerten nach EnEV-Bekanntmachungen Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analyse und Darstellung.....	137
Bild 69:	Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation des Dämmstoffstärke $d_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Baujahre des Gebäude und davon abhängigen Variablen U_{Original} / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ / "InspectionOnSite"	157
Bild 70:	Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation der Dämmstoffstärke $d_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Flächenanteile der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1925 / $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ / "InspectionOnSite"	158
Bild 71:	Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation der Dämmstoffstärke $d_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Flächenanteile der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1980 / $U_{\text{Original}} = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ / "InspectionOnSite"	159
Bild 72:	Unsicherheit des effektiven U-Wertes der Außenwand bei Variation des Flächenanteils der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Dämmstärken $d_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1925 / $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ / Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = \pm 20\%$ / "InspectionOnSite"	160
Bild 73:	Unsicherheit des effektiven U-Wertes der Außenwand bei Variation des Flächenanteils der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Dämmstärken $d_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1980 / $U_{\text{Original}} = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ / Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = \pm 20\%$ / "InspectionOnSite"	161

Bild 74:	Unsicherheit des effektiven U-Wertes der Außenwand bei Variation des Flächenanteils der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Unsicherheiten bei der Bestimmung des Flächenanteils $\Delta f_{\text{Insulation_Uncertainty}}$; Baujahr Gebäude: 1925 / $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effective}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 162
Bild 75:	Auszug Energieprofil-Fragebogen – Erfassung der Eingabedaten für die Ermittlung des U-Wertes opaker Bauteile..... 180
Bild 76:	Ausschnitt aus dem Energieprofil-Fragebogen – Erhebungsgrößen Fenster 187
Bild 77:	Ausschnitt aus dem Energieprofil-Fragebogen – Erhebungsgrößen für die Einordnung von Wärmebrücken 193
Bild 78:	Auszug aus dem Energieprofil-Fragebogen (Einstellungen) – Schema der Erfassung der Datenquellen 202

A.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kennzeichnung der Verbrauchsdaten entsprechend ihrer „Auffälligkeit“ 30
Tab. 2:	Pauschale U-Werte für die Bauteile Dach, oberste Geschossdecke, Außenwand und Fußboden / Kellerdecke, differenziert nach der Baualtersklasse des Gebäudes und der Konstruktionsart „massiv“, „Holz“ oder „unbekannt“ (Die Anwendung der Tabelle im Rechenverfahren ist in Anhang D dokumentiert / Version mit Variablennamen: Tab. 50)..... 37
Tab. 3:	Pauschalansätze für den Flächenanteil nachträglicher Dämmung bei Konstruktionen mit Wärmeschutzmodernisierung und unbekanntem Flächenanteil sowie für Konstruktionen ohne Information darüber, ob eine Modernisierung stattgefunden hat (Die Anwendung der Tabelle im Rechenverfahren ist in Anhang D dokumentiert / Version mit Variablennamen: Tab. 51) 38
Tab. 4:	Pauschalansätze für die nominale Dämmstärke und für die effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung bei Konstruktionen mit unbekannten Erhebungsgrößen differenziert nach Bauteiltyp und Art des Bauteils sowie nach dem Zeitraum der Modernisierung bzw. des Einbaus der Dämmung (Die Anwendung der Tabelle im Rechenverfahren ist in Anhang D dokumentiert / Version mit Variablennamen: Tab. 52)..... 39
Tab. 5:	Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen je Erhebungsgröße bzw. Modelleingangsvariable 42
Tab. 6:	Zuordnung von relativen bzw. absoluten Unsicherheiten zu den Unsicherheitsklassen der Erhebungsgrößen bzw. Modelleingangsvariablen..... 43
Tab. 7:	Pauschale Fenster-U-Werte differenziert nach Anzahl der Scheiben, dem Vorhandensein von Wärmeschutzverglasung und dem Rahmen-Material (Verglasung, Rahmen und Randverbund / Herleitung siehe Anhang C.6) 47
Tab. 8:	Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen und Quantifizierung der Unsicherheiten des U-Wertes von Fenstern (Herleitung siehe Anhang C.6.4 und C.6.5)..... 49
Tab. 9:	Übersicht über die Datensätze der MOBASY-Gebäude-Sammlung..... 62
Tab. 10:	Ergebnisdaten der Realbilanzierung und des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs farbige Zellen zeigen die bezüglich ihres Verbrauchs auffälligen Werte Energiebezugsfläche in dieser Tabelle: beheizte Wohnfläche 66
Tab. 11:	Mittelwerte des gemessenen Energieverbrauchs für Kategorien des berechneten Energiebedarfs (Vergleichswerte MOBASY Realbilanz)..... 77
Tab. 12:	Variablennamen der Energieprofil-Indikatoren und Erläuterungen (Informationen aus der Gebäudedaten-Tabelle in „Building-Data.xlsx“, siehe Schema des „EnergyProfile“-Tools in Anhang B.2) 94
Tab. 13:	Analyse der U-Werte für Dach-Konstruktionen aus Gebäude- und Bauteiltypologien Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analysen und Darstellung..... 127

Tab. 14:	Analyse der U-Werte für Geschossdecken-Konstruktionen aus Gebäude- und Bauteiltypologien Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analysen und Darstellung.....	129
Tab. 15:	Analyse der U-Werte für Außenwand-Konstruktionen aus Gebäude- und Bauteiltypologien Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analysen und Darstellung.....	132
Tab. 16:	Analyse der pauschalen U-Werte für Kellerdecken aus Gebäude- und Bauteiltypologien Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analyse und Darstellung	135
Tab. 17:	Definition der drei Effizienzlevels für die Festlegung der U-Werte der Beispielgebäude	139
Tab. 18:	Analyse der U-Werte der Beispielgebäude der deutschen Wohngebäudetypologie eigene Auswertungen der Daten aus [WG-Typologie-DE 2015]	140
Tab. 19:	Abschätzung der U-Werte aus den für den Neubau erhobenen Dämmstärken und Vergleich mit den mittleren U-Werten der Beispielgebäude der Wohngebäudetypologie Daten aus [Diefenbach et al. 2010], [Cischinsky / Diefenbach 2018] und [WG-Typologie-DE 2015] / eigene Auswertungen	141
Tab. 20:	Pauschale U-Werte opaker Bauteile nach Baualtersklassen ohne zusätzliche Dämmung als Grundlage für die MOBASY-Realbilanz.....	142
Tab. 21:	Flächenanteil der nachträglichen Wärmedämmung bei Bestandsgebäuden; statistische Daten (Mittelwerte und Unsicherheit der Mittelwerte) aus der Wohngebäudeerhebung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018] (eigene Darstellung der in der Quelle angegebenen Daten)....	144
Tab. 22:	MOBASY-Pauschalwerte für Bauteile ohne Angaben zum Flächenanteil nachträglich durchgeführter Dämmmaßnahmen bzw. ohne Angaben zur Wärmedämmung allgemein (abgeleitet aus den empirischen Werten in Tab. 21)	145
Tab. 23:	Mittlere Dämmstoffstärken und Unsicherheit des Mittelwerts ("Standardfehler") in cm Daten aus den Wohngebäudeerhebungen 2009 [Diefenbach et al. 2010] und 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018]	146
Tab. 24:	MOBASY-Pauschalwerte für die mittlere Dämmstoffstärke und zugehörige Unsicherheiten in cm (teilweise abgeleitet aus den empirischen Werten in Tab. 23)	147
Tab. 25:	MOBASY-Pauschalansätze für die effektive Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmmaterialien differenziert nach dem Zeitraum des Einbaus der Wärmedämmung (Herleitung der Pauschalwerte für Steildach siehe nächster Abschnitt)	148
Tab. 26:	U-Werte von gedämmten Steildachkonstruktionen in Abhängigkeit von nominaler Dämmstärke und der Wärmeleitfähigkeit des reinen Dämmstoffs	149
Tab. 27:	Effektive Wärmeleitfähigkeit von gedämmten Steildachkonstruktionen in Abhängigkeit von nominaler Dämmstärke und der Wärmeleitfähigkeit des reinen Dämmstoffs	150
Tab. 28:	Mit Unsicherheiten belegte Größen (Erhebungsgrößen bzw. Modell-Eingangsvariablen)	151
Tab. 29:	Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen je Erhebungsgröße bzw. Modelleingangsvariable	152
Tab. 30:	Zuordnung von relativen bzw. absoluten Unsicherheiten zu den Unsicherheitsklassen der Erhebungsgrößen bzw. Modelleingangsvariablen (Sind relative und absolute Werte vorhanden wird das jeweilige Minimum verwendet.)	153
Tab. 31:	Häufigkeiten von Fenster-Verglasungsarten / Daten aus der Wohngebäudeerhebung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018]	163
Tab. 32:	Produktionszahlen von Verglasungen differenziert nach Verglasungstyp von 1971 bis 2016 [VFF / BF 2017] eigene Auswertungen: produzierte Fläche zusammengefasst nach den TABULA- Baualtersklassen der deutschen Wohngebäudetypologie / U_g -Wert bezogen auf die Fläche der Verglasung	164
Tab. 33:	Produktionszahlen von Fenstern differenziert nach Rahmenbauart von 1971 bis 2016 gemäß [VFF / BF 2017] eigene Auswertungen: produzierte Fläche zusammengefasst nach den TABULA- Baualtersklassen der deutschen Wohngebäudetypologie / angegebene U_f -Werte bezogen auf die Fläche des Rahmens	165

Tab. 34:	Aus den Statistiken gemäß [VFF / BF 2017] berechneter mittlerer Fenster-U-Wert nach Fenstertyp und Produktionszeitraum für eine mittlere Fenstergröße (Zuordnung der Werte zu den TABULA-Baualtersklassen der deutschen Wohngebäudetypologie).....	166
Tab. 35:	Vergleich der Daten aus [VFF / BF 2017] und [Cischinsky / Diefenbach 2018] (eigene Auswertungen der angegebenen Datenquellen)	167
Tab. 36:	Ansatz für die drei Fenstergrößen	168
Tab. 37:	Großformatige Fenster / mittlerer U-Wert nach Fenstertyp und Produktionszeitraum (auf der Grundlage der in der Statistik für jeden Verglasungs- und Rahmentyp angegebenen U-Werte)	169
Tab. 38:	Kleinformatige Fenster / mittlerer U-Wert nach Fenstertyp und Produktionszeitraum (auf der Grundlage der in der Statistik für jeden Verglasungs- und Rahmentyp angegebenen U-Werte)	170
Tab. 39:	Streuung der Fenster-U-Werte differenziert nach Baualtersklasse und nach Anzahl der Fensterscheiben (Streuung bedingt durch Wärmeschutzverglasungstypen, Fenstergröße, Fensterrahmen, und Randverbundtyp) / absolute und Standardabweichungen (eigene Auswertung der Daten aus [VFF / BF 2017])	171
Tab. 40:	Aus der Fensterstatistik abgeleitete Unsicherheiten pauschaler Fenster-U-Werte.....	172
Tab. 41:	Fenster-U-Werte / Basistabelle (Alu-Randverbund / ohne Einbau) aus: [Toolbox 2001] / nach: [Kehl 2000]	173
Tab. 42:	Fenster-U-Werte / Zusatztable Einbausituation / Zuschläge gegenüber der Basistabelle aus: [Toolbox 2001] / nach: [Kehl 2000]	174
Tab. 43:	Fenster-U-Werte / Zusatztable Randverbund / Zuschläge gegenüber Aluminium-Randverbund aus: [Toolbox 2001] / nach: [Kehl 2000])	175
Tab. 44:	Ermittlung des Mittelwertes und der Spanne des Fenster-U-Werts für verschiedene Fensterformate auf der Grundlage der Basistabelle nach [Toolbox 2001] (neu ergänzter Tabellenteil ist hellblau hinterlegt).....	176
Tab. 45:	Ansätze für die Unsicherheiten pauschaler Fenster-U-Werte im MOBASY-Realbilanzverfahren	177
Tab. 46:	Pauschale Fenster-U-Werte.....	178
Tab. 47:	Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen und Quantifizierung der Unsicherheiten des U-Wertes von Fenstern	179
Tab. 48:	Überblick Zuordnung Bauteile	195
Tab. 49:	Konstanten zur Nutzung als Pauschalwerte für die Berechnung.....	196
Tab. 50:	Pauschalwerte "U_Class_NA", "U_Class_Massive" und "U_Class_Wooden", differenziert nach Bauteilart und Konstruktionsweise	197
Tab. 51:	Pauschalwerte "f_Measure_Default" für die Ermittlung von "f_Insulation_Calc" bei Konstruktionen mit Wärmeschutzmodernisierung und unbekanntem Flächenanteil und für Konstruktionen ohne Information, ob eine Modernisierung stattgefunden hat; differenziert nach Bauteiltyp	197
Tab. 52:	Pauschalwerte "d_Insulation_Default" für die Ermittlung von "d_Insulation_Calc" bei Konstruktionen mit unbekannter Erhebungsgröße "d_Insulation" differenziert nach Bauteiltyp und Art des Bauteils sowie nach dem Zeitraum der Modernisierung bzw. des Einbaus der Dämmung / zugeordnete Pauschalwerte der Wärmeleitfähigkeit "Lambda_Default"	199
Tab. 53:	Pauschale Fenster-U-Werte differenziert nach Anzahl der Scheiben, dem Vorhandensein von Wärmeschutzverglasung und dem Rahmen (TABULA-Code-System) / Werte für mittlere Fenstergrößen (Verglasung, Rahmen und Randverbund / Herleitung siehe Anhang C.6)	200
Tab. 54:	Pauschalwerte für die Wärmebrückenzuschläge gemäß TABULA-Verfahren	201
Tab. 55:	Quantifizierung der Unsicherheiten der fünf Unsicherheitsklassen je Eingangsvariable des effektiven U-Wertes (alle Bauteile) / bei Kombination aus relativer und absoluter Unsicherheit wird der effektiv kleinere Wert verwendet.....	208

Tab. 56:	Relative Unsicherheiten des U-Wertes von Fenstern (Herleitung siehe Anhang C.6).....	211
Tab. 57:	Ansätze für die absolute Unsicherheit des Wärmeverlustes an den Bauteilanschlüssen	213

A.4 Verzeichnis der Rechenregeln

RR 1:	Year_Building_Calc – Baujahr des Gebäudes	181
RR 2:	Indicator_Constr_Massive_Calc – Indikator für massive Konstruktion	182
RR 3:	Indicator_Constr_Wooden_Calc – Indikator für Holzkonstruktion	182
RR 4:	U_Original – U-Wert des Original-Zustands	182
RR 5:	U_Original_Calc – U-Wert des Original-Zustands mit gegebenenfalls zusätzlichem Wärmedurchlasswiderstand bei angrenzenden unbeheizten Bereichen)	182
RR 6:	Code_InsulationType_Calc – Anlass der Dämmstoff-Installation.....	183
RR 7:	Code_MeasureType_Calc – Art des An- oder Einbringens der Dämmung	183
RR 8:	Year_Insulation_Calc – Jahr der Dämmstoffinstallation.....	184
RR 9:	Lambda_Insulation_Calc – effektive Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes.....	184
RR 10:	d_Insulation_Calc – (nominale) Dicke der Dämmung	185
RR 11:	f_Insulation_Calc – Flächenanteil der Wärmedämmung an dem jeweiligen Bauteiltyp.....	185
RR 12:	U_Effective – effektiver U-Wert für ganz oder teilweise gedämmte Bauteile	186
RR 13:	U_Insulated – U-Wert der gedämmten Teilfläche.....	186
RR 14:	U_Insulated – U-Wert der gedämmten Teilfläche.....	186
RR 15:	Year_Installation_WindowType1_Calc – Einbaujahr Fenster	188
RR 16:	Code_U_Class_WindowType1_nPane – TABULA-Code-Segment für die Anzahl der Scheiben (identische Rechenregel für WindowType2)	189
RR 17:	Code_U_Class_WindowType1_LowE – TABULA-Code-Segment als Indikator für Wärmeschutzverglasung (identische Rechenregel für WindowType2).....	189
RR 18:	Code_U_Class_WindowType1_FrameMaterial – TABULA- Code-Segment als Indikator für das Rahmenmaterial (identische Rechenregel für WindowType2)	190
RR 19:	Code_U_Class_WindowType1_GasFilling – TABULA-Code-Segment als Indikator für die Gasfüllung im Scheibenzwischenraum (identische Rechenregel für WindowType2)	190
RR 20:	Code_U_Class_WindowType1_FrameMaterial – TABULA-Code-Segment als Indikator für Passivhaus-Fenster (identische Rechenregel für WindowType2).....	190
RR 21:	f_Measure_Window_1 – Anteil des zweiten Fenstertyps (rechentechnisch behandelt als Maßnahme) der Fensterfläche 1 (Die zweite Fensterfläche Windows_2 wird in der Energiebilanz nicht verwendet)	191
RR 22:	U_Actual_Window_1 und U_Actual_Window_2 – mittlerer Fenster-U-Wert	191
RR 23:	Code_U_Class_WindowType1 – TABULA-Code für den Fenster-Typ (identische Rechenregel für WindowType2)	192
RR 24:	Code_ThermalBridging_Calc – TABULA-Code für den Wärmebrücken-Typ.....	194
RR 25:	Ermittlung des Einbautyps der nachträglichen Wärmedämmung als Grundlage für die Pauschalwerte für die nominale Dämmstärke und die effektive Wärmeleitfähigkeit der Wärmeschutzmaßnahme in Tab. 52.....	198
RR 26:	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc – Klassifizierung der Datenqualität abhängig von der globalen oder Bauteil-bezogenen Bewertung; Ermittlung für "Roof", "Walls", "Windows", "Floor " entsprechend der Differenzierung der Qualität der Datenquellen.....	203

RR 27:	Code_TypeDataSources_ThermalBridging_Calc – Klassifizierung der Datenqualität abhängig von der globalen oder Bauteil-bezogenen Bewertung.....	203
RR 28:	Code_Uncertainty_U_Original – Klassifizierung der Unsicherheit des Ausgangs-U-Werts; ohne Differenzierung nach Bauteilart, da es nur eine Angabe zum Baualter des Gebäudes gibt.....	204
RR 29:	Code_Uncertainty_f_Insulation – Klassifizierung der Unsicherheit des Flächenanteils der Dämmung	205
RR 30:	Code_Uncertainty_d_Insulation – Klassifizierung der Unsicherheit der Dämmstoffdicke	206
RR 31:	Code_Uncertainty_Lambda_Insulation – Klassifizierung der Unsicherheit der Wärmeleitfähigkeit	206
RR 32:	Code_Uncertainty_U_InputManual – Klassifizierung der Unsicherheit bei direkter Eingabe....	207
RR 33:	Delta_U_Eff_Unc – Gesamtunsicherheit des für gedämmte Konstruktionen berechneten U-Wertes	208
RR 34:	Delta_U_Eff_Unc_By_U_Original Delta_U_Eff_Unc_By_f_Insulation Delta_U_Eff_Unc_By_d_Insulation Delta_U_Eff_Unc_By_Lambda_Insulation – Unsicherheit des für gedämmte Konstruktionen berechneten U-Wertes bedingt durch die Unsicherheit der Eingangsgrößen der Berechnung.....	209
RR 35:	f_Relevance_Unc_U_Eff_U_Original f_Relevance_Unc_U_Eff_f_Insulation f_Relevance_Unc_U_Eff_d_Insulation f_Relevance_Unc_U_Eff_Lambda_Insulation – Faktoren zur Bewertung der Relevanz der Unsicherheit der Eingangsgrößen für die Gesamtunsicherheit des U-Wertes	209
RR 36:	Code_Uncertainty_U_Window – Klassifizierung der Unsicherheit des Fenster-U-Wertes	211
RR 37:	Code_Uncertainty_ThermalBridging – Klassifizierung der Unsicherheit der zusätzlichen Wärmeverluste durch Wärmebrückeneffekte	212

Anhang B – Indikatoren, Formulare und Rechenblätter

B.1 Basis-Monitoring-Indikatoren – Variablen, Kategorien und Erläuterungen

Tab. 12: Variablennamen der Energieprofil-Indikatoren und Erläuterungen

(Informationen aus der Gebäudedaten-Tabelle in „Building-Data.xlsx“, siehe Schema des „EnergyProfile“-Tools in Anhang B.2)

Variable / Datenfeldname	Datenformat	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Gebäude					
Year_State	Integer		Jahr des hier dargestellten Zustands (= Entnahme der Daten aus Datenbanken, Akten, im Zuge von Begehungen usw.)	Wenn der Zustand über mehrere Jahre gleich war, bitte das letzte vollständige Jahr eintragen.	unbekannt: -9999
Year_Building	Integer		Baujahr des Gebäudes	im Fall späterer Erweiterungen überwiegendes Baujahr (entsprechend Anteil an der Wohnfläche)	unbekannt: -9999
n_Block	Integer		Anzahl der Gebäudeblöcke	wird benötigt für den Fall, dass Datensätze mehrere Blöcke enthalten	
n_House	Integer		Anzahl der Häuser bzw. Gebäudeeinheiten (Hauseingänge mit eigener Hausnummer)	Wird benötigt im Fall von Gebäudeblöcken, die aus mehreren Gebäuden bestehen bzw. mehrere Hauseingänge haben	
n_Storey	Integer		Anzahl Vollgeschosse	Anzahl der beheizten Geschosse ohne Dachgeschoss und ohne Kellergeschoss (auch wenn diese Wohnräume enthalten). Ein Dachgeschoss liegt vor, wenn Räume mit Dachschrägen vorhanden sind.	
n_Dwelling	Integer		Anzahl der Wohneinheiten		
A_C_Floor_Intake	Real	m²	Erhebungsfläche	Art der Fläche definiert durch Auswahl im Datenfeld "Code_TypeFloorArea_A_C_Floor_Intake"	
Code_TypeFloorArea_A_C_Floor_Intake	VarChar		Art der Erhebungsfläche	Art der erhobenen Fläche (A_C_Floor_Intake)	festgelegte Codes: "A_C_ExtDim": beheizte Bruttogrundfläche "A_C_IntDim": beheizte Nettogrundfläche "A_C_Use": beheizte Nutzfläche "A_C_Living": beheizte Wohnfläche "A_C_Ref": TABULA Referenzfläche " _NA_ ": k.A. / keine Angaben
Code_BuildingPart_A_C_Floor_Intake	VarChar		Bezug der Erhebungsfläche		festgelegte Codes: "Building": des gesamten Gebäudes "Storey": pro Vollgeschoss
Code_AttachedNeighbours	VarChar		Anzahl direkt angrenzender Nachbargebäude	ein direkt angrenzendes Nachbargebäude liegt vor, wenn die dem Nachbargebäude zugewandte Wandfläche zu mehr als 50 % unmittelbar an das Nachbargebäude grenzt. Steht das Nachbargebäude nicht in unmittelbarem Kontakt (Traufgasse), so gilt es nicht als direkt angrenzend.	festgelegte Codes: "N0": keins (freistehend) "N1": auf einer Seite "N2": auf zwei Seiten " _NA_ ": k.A. / keine Angaben / unbekannt
Code_ComplexFootprint	VarChar		Komplexität des Gebäudegrundrisses		festgelegte Codes: "Simple": kompakt "Standard": normal "Complex": langgestreckt oder gewinkelt oder komplex " _NA_ ": k.A. / keine Angaben / unbekannt
Code_AtticCond	VarChar		Beheizungssituation von Flächen im Dachgeschoss (sofern vorhanden)	entscheidend ist die Zuordnung der Bezugsfläche	festgelegte Codes: "-": Flachdach oder flach geneigtes Dach (kein Dachgeschoss vorhanden) "N": Dachgeschoss unbeheizt "P": Dachgeschoss teilweise beheizt "C": Dachgeschoss voll beheizt " _NA_ ": k.A. / keine Angaben / unbekannt
Code_ComplexRoof	VarChar		Dachgauben oder andere Dachaufbauten vorhanden		festgelegte Codes: "Simple": einfache bzw. gewöhnliche Dachform "Complex": Dach mit mehreren Gauben oder komplexe Dachform " _NA_ ": k.A. / keine Angaben / unbekannt

Variable / Datenfeldname	Datenformat	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Code_CellarCond	VarChar		Beheizungssituation von Flächen im Kellergeschoss (sofern vorhanden)	entscheidend ist die Zuordnung der Bezugsfläche	festgelegte Codes: "-": nicht unterkellert "N": Kellergeschoss unbeheizt "P": Kellergeschoss teilweise beheizt "C": Kellergeschoss voll beheizt "-NA-": k.A. / keine Angaben / unbekannt
Indicator_Cellar_Insulated	Boolean		Kellerboden und -wände gedämmt	Kellergeschoss ist von der thermischen Hülle mit umschlossen	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
h_Ceiling	Real	m	lichte Raumhöhe, verwendet für Abschätzung der Gebäudehüllfläche (gemessen von der Oberseite Fußboden bis zur Unterseite Decke; bei unterschiedlichen Raumhöhen: überwiegende Raumhöhe oder abgeschätzter Mittelwert)	Eingabe sinnvoll bei sehr hohen Räumen (z.B. Gründerzeitgebäuden); wenn nichts eingetragen ist, wird von einem Wert von 2,50 m ausgegangen	
Indicator_Roof_Constr_Massive	Boolean		Massive Konstruktion im Dachbereich	Konstruktionsart ohne Holz (Stahl, Beton, Mauerwerk, ...)	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_Roof_Constr_Wood	Boolean		Holz-Konstruktion im Dachbereich	Konstruktionsart mit Holz	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_Ceiling_Constr_Massive	Boolean		Massive Konstruktion der obersten Geschossdecke	Konstruktionsart ohne Holz (Stahl, Beton, Mauerwerk, ...)	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_Ceiling_Constr_Wood	Boolean		Holz-Konstruktion der obersten Geschossdecke	Konstruktionsart mit Holz	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_Wall_Constr_Massive	Boolean		Massive Konstruktion der Außenwände	Konstruktionsart ohne Holz (Stahl, Beton, Mauerwerk, ...)	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_Wall_Constr_Wood	Boolean		Holz-Konstruktion der Außenwände	Konstruktionsart mit Holz	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_Floor_Constr_Massive	Boolean		Massive Konstruktion des Fußbodens (Kellerdecke, Fußboden gegen Erdreich)	Konstruktionsart ohne Holz (Stahl, Beton, Mauerwerk, ...)	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_Floor_Constr_Wood	Boolean		Holz-Konstruktion des Fußbodens (Kellerdecke, Fußboden gegen Erdreich)	Konstruktionsart mit Holz	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
d_Insulation_Roof	Real	cm	Dämmstärke	Dach	
d_Insulation_Ceiling	Real	cm	Dämmstärke	oberste Geschossdecke	
d_Insulation_Wall	Real	cm	Dämmstärke	Außenwände	
d_Insulation_Floor	Real	cm	Dämmstärke	Fußboden zum Keller oder Erdreich	
f_Insulation_Roof	Real		Flächenanteil Dämmung am gesamten Bauteil	Dach	
f_Insulation_Ceiling	Real		Flächenanteil Dämmung am gesamten Bauteil	oberste Geschossdecke	
f_Insulation_Wall	Real		Flächenanteil Dämmung am gesamten Bauteil	Außenwände	
f_Insulation_Floor	Real		Flächenanteil Dämmung am gesamten Bauteil	Fußboden zum Keller oder Erdreich	
Code_MeasureType_Roof	VarChar		Typ der Maßnahme	Dach	festgelegte Codes: "Add": zusätzliche Dämmung "Replace": vorhandene Konstruktion ausgetauscht "ReplaceInsulation": vorhandene Dämmung ausgetauscht "-NA-": keine Angaben / unbekannt

Variable / Datenfeldname	Daten- format	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Code_MeasureType_Ceiling	VarChar		Typ der Maßnahme	oberste Geschossdecke	festgelegte Codes: "Add": zusätzliche Dämmung "Replace": vorhandene Konstruktion ausgetauscht "ReplaceInsulation": vorhandene Dämmung ausgetauscht " _NA_ ": keine Angaben / unbekannt
Code_MeasureType_Wall	VarChar		Typ der Maßnahme	Außenwände	festgelegte Codes: "Add": zusätzliche Dämmung "Replace": vorhandene Konstruktion ausgetauscht "ReplaceInsulation": vorhandene Dämmung ausgetauscht " _NA_ ": keine Angaben / unbekannt
Code_MeasureType_Floor	VarChar		Typ der Maßnahme	Fußboden zum Keller oder Erdreich	festgelegte Codes: "Add": zusätzliche Dämmung "Replace": vorhandene Konstruktion ausgetauscht "ReplaceInsulation": vorhandene Dämmung ausgetauscht " _NA_ ": keine Angaben / unbekannt
Lambda_Insulation_Roof	Real	W/(m·K)	effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	Dach	
Lambda_Insulation_Ceiling	Real	W/(m·K)	effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	oberste Geschossdecke	
Lambda_Insulation_Wall	Real	W/(m·K)	effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	Außenwände	
Lambda_Insulation_Floor	Real	W/(m·K)	effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	Fußboden zum Keller oder Erdreich	
Code_InsulationType_Roof	VarChar		Einbau-Art der Wärmedämmung	Dach	festgelegte Codes: "None" (keine): keine Dämmung "Original" (original): Dämmung eingebaut bei Errichtung des Gebäudes "Refurbish" (Modernisierung): Dämmung eingebaut bei Modernisierung " _NA_ " (k.A.): keine Angaben / unbekannt
Code_InsulationType_Ceiling	VarChar		Einbau-Art der Wärmedämmung	oberste Geschossdecke	festgelegte Codes: "None" (keine): keine Dämmung "Original" (original): Dämmung eingebaut bei Errichtung des Gebäudes "Refurbish" (Modernisierung): Dämmung eingebaut bei Modernisierung " _NA_ " (k.A.): keine Angaben / unbekannt
Code_InsulationType_Wall	VarChar		Einbau-Art der Wärmedämmung	Außenwände	festgelegte Codes: "None" (keine): keine Dämmung "Original" (original): Dämmung eingebaut bei Errichtung des Gebäudes "Refurbish" (Modernisierung): Dämmung eingebaut bei Modernisierung " _NA_ " (k.A.): keine Angaben / unbekannt
Code_InsulationType_Floor	VarChar		Einbau-Art der Wärmedämmung	Fußboden (Kellerdecke, Fußboden gegen Erdreich)	festgelegte Codes: "None" (keine): keine Dämmung "Original" (original): Dämmung eingebaut bei Errichtung des Gebäudes "Refurbish" (Modernisierung): Dämmung eingebaut bei Modernisierung " _NA_ " (k.A.): keine Angaben / unbekannt
Year_Refurbishment_Roof	Integer		Jahr der Modernisierung	Dach	
Year_Refurbishment_Ceiling	Integer		Jahr der Modernisierung	oberste Geschossdecke	
Year_Refurbishment_Wall	Integer		Jahr der Modernisierung	Außenwände	
Year_Refurbishment_Floor	Integer		Jahr der Modernisierung	Fußboden (Kellerdecke, Fußboden gegen Erdreich)	
Indicator_InternalWallInsulation	VarChar		Innendämmung (raumseitig)		festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Code_Potential_ExternalWallInsulation	VarChar		bei ungedämmter Fassade: nachträgliche Dämmung möglich?		festgelegte Codes: "Possible": möglich "PartlyPossible": teilweise möglich "NotPossible": nicht möglich " _NA_ ": k.A. / unbekannt
Code_NumberPanEs_WindowType1	VarChar		Anzahl der Scheiben	Fenstertyp 1	festgelegte Codes: "1p": 1 Scheibe "2p": 2 Scheiben "3p": 3 Scheiben " _NA_ ": k.A. / keine Angaben / unbekannt
Code_NumberPanEs_WindowType2	VarChar		Anzahl der Scheiben	Fenstertyp 2	festgelegte Codes: "1p": 1 Scheibe "2p": 2 Scheiben "3p": 3 Scheiben " _NA_ ": k.A. / keine Angaben / unbekannt

Variable / Datenfeldname	Datenformat	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Indicator_LowE_WindowType1	Boolean		Wärmeschutz-Ver- glasung	Fenstertyp 1	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Indicator_LowE_WindowType2	Boolean		Wärmeschutz-Ver- glasung	Fenstertyp 2	festgelegte Codes: 0 nein 1 ja (bei Misch-Konstruktionen Holz/massiv in beide Felder eine 1 eintragen)
Code_Frame_WindowType1	VarChar		Bauart Fensterrah- men	Fenstertyp 1	festgelegte Codes: "Wood": Holzrahmen "Plastic": Kunststoffrahmen "Metal": Alu- oder Stahlrahmen "-": andere oder unbekannt
Code_Frame_WindowType2	VarChar		Bauart Fensterrah- men	Fenstertyp 2	festgelegte Codes: "Wood": Holzrahmen "Plastic": Kunststoffrahmen "Metal": Alu- oder Stahlrahmen "-": andere oder unbekannt
Indicator_PassiveHouseWindow_Wi ndowType1	Boolean		wärmedämmter Rahmen (bei 3-fach- WS-Vergl.)	Fenstertyp 1	($U \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)
Indicator_PassiveHouseWindow_Wi ndowType2	Boolean		wärmedämmter Rahmen (bei 3-fach- WS-Vergl.)	Fenstertyp 2	($U \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)
U_w_Certified_WindowType1	Real	W/(m ² K)	Herstellerangaben o- der -zertifikat zum U_w-Wert	Fenstertyp 1	Verglasung, Randverbund und Rahmen
U_w_Certified_WindowType2	Real	W/(m ² K)	Herstellerangaben o- der -zertifikat zum U_w-Wert	Fenstertyp 2	Verglasung, Randverbund und Rahmen
f_Area_WindowType2	Real		Flächenanteil von Fenstertyp 2	(Rest = Haupttyp Fenster)	Wenn hier 0 oder nichts eingetragen ist, gilt der zweite Fenstertyp als nicht vorhanden.
Year_Installation_WindowType1	Integer		Jahr des Fensterein- baus	Fenstertyp 1	unbekannt: -9999
Year_Installation_WindowType2	Integer		Jahr des Fensterein- baus	Fenstertyp 2	unbekannt: -9999
Code_ThermalBridging	VarChar		Wirkung von Wärmebrücken		festgelegte Codes (+ Merkmale / Anhaltspunkte für Einordnung: zusätzliche Transmissionswärme- verluste, wenn bekannt (bezogen auf Hüllfläche, Werte basieren auf Außenmaß)): "Minimal" (minimal): keine Durchdringungen der Hüllfläche mit Elementen deutlich höherer Wärme- leitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten ohne Stahl- oder Beton-Elemente; (2) Best-Practice- Neubauten mit minimierten Wärmebrücken / 0 "VeryLow" (sehr gering): keine relevanten Durch- dringungen der Hüllfläche mit Elementen deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten mit nur wenig Stahl- oder Beton-Ele- menten; (2) Best-Practice-Modernisierungen mit minimierten Wärmebrücken / 0,02 "Low" (gering): nur geringfügige Durchdringungen von Dämmschichten / 0,05 "Medium" (mittel): relevante konstruktive Wärme- brücken; z.B. Innendämmung in Gebäuden mit Holzbalkendecken / 0,1 "High" (hoch): sehr relevante konstruktive Wär- mebrücken; z.B. Beton durchdringt Dämmebene / 0,15 "-NA_" (k.A.): keine Angaben / unbekannt
Code_Infiltration	VarChar		Wirkung der Infiltra- tion		festgelegte Codes (+ Merkmale / Anhaltspunkte für Einordnung: n. 50, sofern Blower-Door-Mes- sung durchgeführt wurde): "Minimal" (minimal): sehr luftdicht; z.B. Massiv- bauten mit massiven Decken und sehr dichten Fenstern / Holzbauten mit Dichtheitskonzept und messtechnischer Überprüfung (Blower-Door-Mes- sung) / 0,05 "Low" (gering): luftdicht; z.B. Massivbauten mit massiven Decken und dichten Fenstern / Holz- bauten mit Dichtheitskonzept und messtechni- scher Überprüfung (Blower-Door-Messung) / 0,1 "Medium" (mittel): Massivbauten ohne besondere Maßnahmen bzw. Bestand / 0,2 "High" (hoch): offensichtliche Undichtigkeiten (z.B. bei Fenstern ohne funktionstüchtige Lippen- dichtungen, bei beheizten Dachgeschossen mit Dachflächen ohne luftdichte Ebene) / 0,4 "-NA_" (k.A.): keine Angaben / unbekannt

Variable / Datenfeldname	Daten- format	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Anlagentechnik					
Code_CentralisationType_SysHG	VarChar	xx	Standort Wärme- erzeugung überwie- gend		festgelegte Codes (+ Merkmale): "Block" (Block): für mehrere Gebäude (Blockhei- zung) "Building" (Gebäude): für das Gebäude "Dwelling" (Wohnung): separat je Wohnung "Room" (Raum): separat je Raum " _NA_" (k.A.): keine Angaben
Year_Installation_System	Integer	xx	Jahr des Einbaus	Gesamtsystem (wenn ein- getragen, werden die Ein- bau-Jahre der Einzelge- räte ignoriert)	unbekannt: -9999
Indicator_UserInput_FractionSysG	Boolean	xx	Manuelle Eingabe des Anteils an der Wärmeerzeugung	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indi- catoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Die manuellen Eingaben für die Anteile werden in der Berechnung nur verwen- det, wenn hier WAHR (o- der 1) eingetragen ist.	festgelegte Codes: "0": "FALSCH" "1": "WAHR" "#NV": k.A. / keine Angaben
Indicator_Boiler_OilGas	Boolean		Öl-/Gas-Kessel oder Gas-Therme		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Boiler_OilGas_SysH	Boolean		Wärmeerzeugung für Heizung	Öl-/Gas-Kessel oder Gas- Therme	mögliche Einträge: 0 nein 1 ja
Indicator_Boiler_OilGas_SysW	Boolean		Wärmeerzeugung für Warmwasser	Öl-/Gas-Kessel oder Gas- Therme	mögliche Einträge: 0 nein 1 ja
Fraction_Input_Boiler_OilGas_SysH	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Heizung	Öl-/Gas-Kessel oder Gas- Therme	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indicatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Fraction_Input_Boiler_OilGas_SysW	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Warm- wasser	Öl-/Gas-Kessel oder Gas- Therme	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indicatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_Boiler_OilGas	Integer		Jahr des Einbaus	Öl-/Gas-Kessel oder Gas- Therme	unbekannt: -9999 wenn nur ein Zeitraum bekannt (Baualtersklasse): das letzte Jahr des Zeitraums eintragen wenn nur das erste Jahr des Zeitraums bekannt (neueste Baualtersklasse): nichts (bzw. -9999) eintragen
Code_Type_EC_Boiler_OilGas	VarChar		Brennstoff	Öl-/Gas-Kessel oder Gas- Therme	festgelegte Codes "Gas": Erdgas "Oil": Heizöl "Gas_Liquid": Flüssiggas
Code_BoilerType_OilGas	VarChar		Typ	Öl-/Gas-Kessel oder Gas- Therme	festgelegte Codes: "B_NC_CT": Konstanttemperatur-Kessel "B_NC_LT": Niedertemperatur-Kessel "B_C": Brennwert-Kessel
Indicator_Boiler_Solid	Boolean		Holzessel / Fest- stoffkessel		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Boiler_Solid_SysH	Boolean		Wärmeerzeugung für Heizung	Holzessel / Feststoffkes- sel	mögliche Einträge: 0 nein 1 ja
Indicator_Boiler_Solid_SysW	Boolean		Wärmeerzeugung für Warmwasser	Holzessel / Feststoffkes- sel	mögliche Einträge: 0 nein 1 ja
Fraction_Input_Boiler_Solid_SysH	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Heizung	Holzessel / Feststoffkes- sel	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indicatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Fraction_Input_Boiler_Solid_SysW	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Warm- wasser	Holzessel / Feststoffkes- sel	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indicatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_Boiler_Solid	Integer		Jahr des Einbaus	Holzessel / Feststoffkes- sel	unbekannt: -9999
Code_Type_EC_Boiler_Solid	VarChar		Brennstoff	Holzessel / Feststoffkes- sel	festgelegte Codes "Bio_FW": Scheitholz "Bio_WP": Pellets "Bio_WC": Holzhackschnittel "Coal": Kohle "Other": andere
Indicator_Heatpump	Boolean		Elektro-Wärmepumpe		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Heatpump_SysH	Boolean		Wärmeerzeugung für Heizung	Elektro-Wärmepumpe	mögliche Einträge: 0 nein 1 ja

Variable / Datenfeldname	Datenformat	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Indicator_Heatpump_SysW	Boolean		Wärmeerzeugung für Warmwasser	Elektro-Wärmepumpe	mögliche Einträge: 0 nein 1 ja
Fraction_Input_Heatpump_SysH	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Heizung	Elektro-Wärmepumpe	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Fraction_Input_Heatpump_SysW	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Warmwasser	Elektro-Wärmepumpe	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_Heatpump	Integer		Jahr des Einbaus	Elektro-Wärmepumpe	unbekannt: -9999
Code_HeatpumpType	VarChar		Wärmequelle der Wärmepumpe	Elektro-Wärmepumpe	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Heatpump_PlusDirectElectricHeater	VarChar		zusätzlich direkt elektrisch	Elektro-Wärmepumpe	mögliche Einträge: 0 nein 1 ja
Indicator_ElectricCentral	Boolean		Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_ElectricCentral_SysH	Boolean		Wärmeerzeugung für Heizung	Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_ElectricCentral_SysW	Boolean		Wärmeerzeugung für Warmwasser	Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_ElectricCentral_SysH	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Heizung	Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Fraction_Input_ElectricCentral_SysW	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Warmwasser	Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_ElectricCentral	Integer		Jahr des Einbaus	Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)	unbekannt: -9999
Indicator_ThermalSolar	Boolean		thermische Solaranlage		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_ThermalSolar_SysH	Boolean		Wärmeerzeugung für Heizung	thermische Solaranlage	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_ThermalSolar_SysW	Boolean		Wärmeerzeugung für Warmwasser	thermische Solaranlage	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_ThermalSolar_SysH	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Heizung	thermische Solaranlage	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Fraction_Input_ThermalSolar_SysW	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Warmwasser	thermische Solaranlage	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_ThermalSolar	Integer		Jahr des Einbaus	thermische Solaranlage	
Indicator_CHP	Boolean		Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_CHP_SysH	Boolean		Wärmeerzeugung für Heizung	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_CHP_SysW	Boolean		Wärmeerzeugung für Warmwasser	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_CHP_SysH	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Heizung	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Fraction_Input_CHP_SysW	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Warmwasser	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_CHP	Integer		Jahr des Einbaus	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	unbekannt: -9999

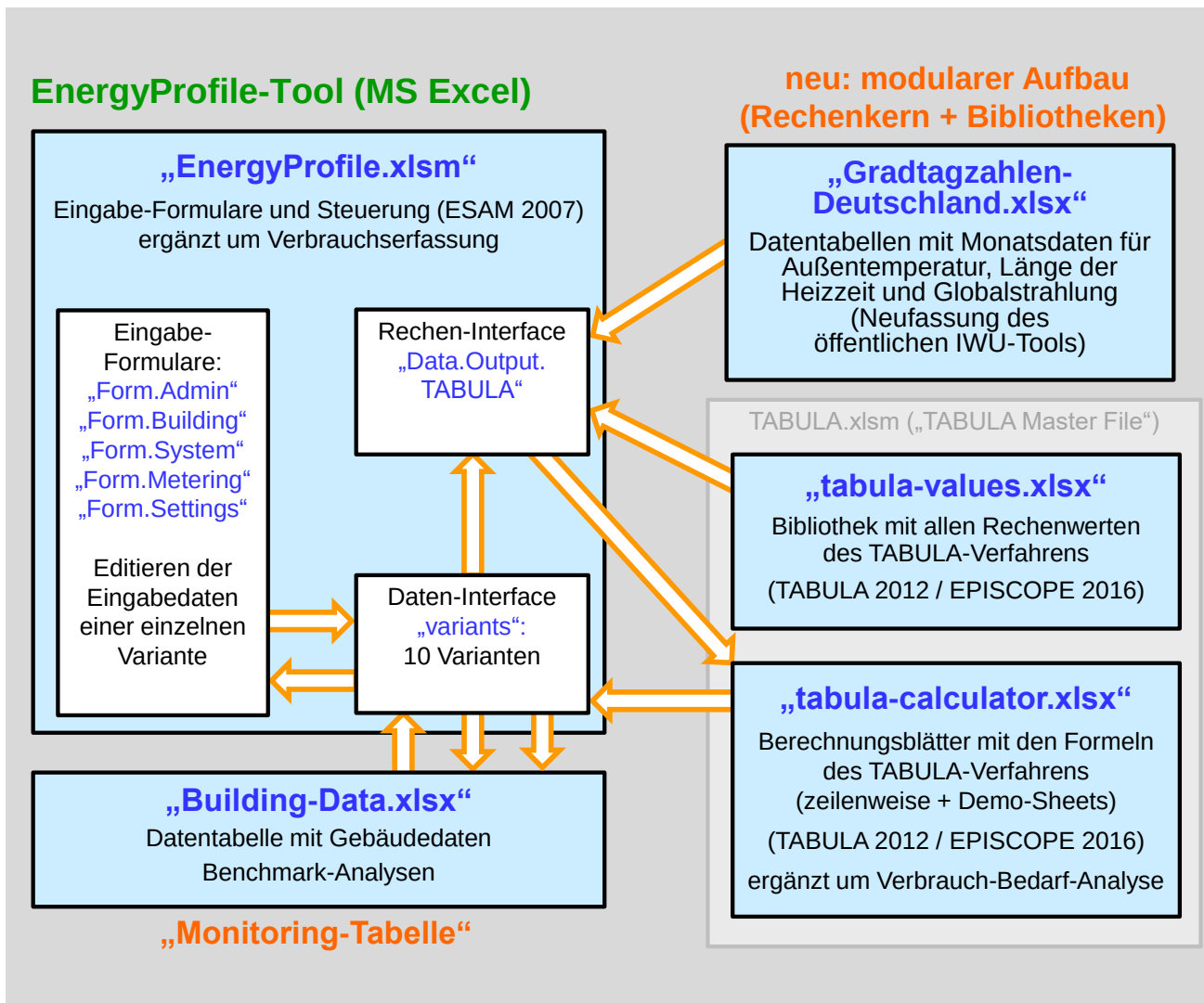
Variable / Datenfeldname	Daten- format	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Code_Type_EC_CHP	VarChar		Brennstoff	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	mögliche Einträge: "Gas": Erdgas "Oil": Heizöl "Bio": Bio-Brennstoff "Other": andere " _NA_ ": keine Angaben
Indicator_DistrictHeating	Boolean		Fern-/Nahwärme		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_DistrictHeating_SysH	Boolean		Wärmeerzeugung für Heizung	Fern-/Nahwärme	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_DistrictHeating_SysW	Boolean		Wärmeerzeugung für Warmwasser	Fern-/Nahwärme	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_DistrictHeating_SysH	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Heizung	Fern-/Nahwärme	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indicatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Fraction_Input_DistrictHeating_SysW	Real		Anteil der Wärmeerzeugung für Warmwasser	Fern-/Nahwärme	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indicatoren! Nur für Parameter Studien zu verwenden! Diese Eingaben werden nur in der Berechnung verwendet, wenn "Indicator_UserInput_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_DistrictHeating	Integer		Jahr des Einbaus	Fern-/Nahwärme	unbekannt: -9999
Indicator_EC_DHStation_Fossil	Boolean		fossiler Brennstoff	Fern-/Nahwärme	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_EC_DHStation_Bio	Boolean		Biomasse	Fern-/Nahwärme	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_DHStation_Boiler	Boolean		Heizwerk (Kessel) - Details siehe oben: Einträge für Kessel	Fern-/Nahwärme	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_DHStation_CHP	Boolean		Heizkraftwerk / BHKW	Fern-/Nahwärme	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Storage_SysH	Boolean		Pufferspeicher für Heizung		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Year_Installation_Storage_SysH	Integer		Jahr des Einbaus	Pufferspeicher für Heizung	unbekannt: -9999
Indicator_Storage_SysH_Immersion	Boolean		inklusive elektrischem Heizstab	Pufferspeicher für Heizung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Storage_SysH_InsideEnvelope	Boolean		Heizungspufferspeicher innerhalb der thermischen Hülle	Pufferspeicher für Heizung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Distribution_SysH	Boolean		Heizwärmeverteilung		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Year_Installation_Distribution_SysH	Integer		Jahr des Einbaus	Heizwärmeverteilung	unbekannt: -9999
Indicator_Distribution_SysH_OutsideEnvelope	Boolean		teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss)	Heizwärmeverteilung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Distribution_SysH_PoorlyInsulated	Boolean		Nur mäßige oder unvollständige Leitungs-dämmung	Heizwärmeverteilung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Distribution_SysH_Low-Temperature	Boolean		Fußbodenheizung / niedrige Verteilnetztemperatur	Heizwärmeverteilung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Storage_SysW	Boolean		Warmwasserspeicher		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Year_Installation_Storage_SysW	Integer		Jahr des Einbaus	Warmwasserspeicher	unbekannt: -9999
Indicator_Storage_SysW_Immersion	Boolean		inklusive elektrischem Heizstab	Warmwasserspeicher	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Storage_SysW_InsideEnvelope	Boolean		Warmwasserspeicher innerhalb der thermischen Hülle	Warmwasserspeicher	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Distribution_SysW	Boolean		Warmwasserverteilung		
Year_Installation_Distribution_SysW	Integer		Jahr des Einbaus	Warmwasserverteilung	unbekannt: -9999
Indicator_Distribution_SysW_CirculationLoop	Boolean		mit Zirkulationsleitung	Warmwasserverteilung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Distribution_SysW_OutsideEnvelope	Boolean		teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss)	Warmwasserverteilung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_Distribution_SysW_PoorlyInsulated	Boolean		nur mäßige oder unvollständige Leitungs-dämmung	Warmwasserverteilung	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden

Variable / Datenfeldname	Daten- format	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
Indicator_SysH_G_Decentral	Boolean		dezentrale Wärme- erzeugung Heizung		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_SysH_G_Stove	Boolean		Einzelöfen		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_SysH_G_Stove	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Heizung	Einzelöfen	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installation_SysH_G_Stove	Integer		Jahr des Einbaus	Einzelöfen	unbekannt: -9999
Code_Type_EC_Stove	VarChar		Brennstoff	Einzelöfen	
Indicator_SysH_G_Dec_DirectElec- tric	Boolean		Elektro-Heizgeräte / Elektro-Öfen		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_SysH_G_Dec_Direct- Electric	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Heizung	Elektro-Heizgeräte / Elektro-Öfen	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_SysH_G_Dec_DirectElectric	Integer		Jahr des Einbaus	Elektro-Heizgeräte / Elektro-Öfen	unbekannt: -9999
Indicator_SysH_G_Dec_Electric- NightStorage	Boolean		elektrische Nacht- speicherheizung		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_SysH_G_Dec_Elec- tricNightStorage	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Heizung	elektrische Nachtspeicher- heizung	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_SysH_G_Dec_Electric- NightStorage	Integer		Jahr des Einbaus	elektrische Nachtspeicher- heizung	unbekannt: -9999
Indicator_SysH_G_Dec_Heatpump	Boolean		raumweise elektri- sche Wärmepumpen (Split-Geräte)		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_In- put_SysH_G_Dec_Heatpump	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Heizung	raumweise elektrische Wärmepumpen (Split-Ge- räte)	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_SysH_G_Dec_Heatpump	Integer		Jahr des Einbaus	raumweise elektrische Wärmepumpen (Split-Ge- räte)	unbekannt: -9999
Indicator_SysW_G_Decentral	Boolean		dezentrale Wärme- erzeugung Warmwas- ser		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_SysW_G_Dec_Electric- Storage	Boolean		dezentrale elektrische Speicher		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_SysW_G_Dec_Elec- tricStorage	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Warm- wasser	dezentrale elektrische Speicher	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installa- tion_SysW_G_Dec_ElectricStorage	Integer		Jahr des Einbaus	dezentrale elektrische Speicher	unbekannt: -9999
Indicator_SysW_G_Dec Elec- tricTankless	Boolean		Elektro-Durchlaufer- hitzer		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_Input_SysW_G_Dec Elec- tricTankless	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Warm- wasser	Elektro-Durchlauferhitzer	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installa- tion_SysW_G_Dec_ElectricTankless	Integer		Jahr des Einbaus	Elektro-Durchlauferhitzer	unbekannt: -9999
Indicator_SysW_G_Dec_GasTank- less	Boolean		Gas-Durchlauferhit- zer		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Fraction_In- put_SysW_G_Dec_GasTankless	Real		Anteil der Wärme- erzeugung für Warm- wasser	Gas-Durchlauferhitzer	Wärmeerzeugungsanteile sind keine Monitoring Indikatoren! Nur für Parameter Studien zu ver- wenden! Diese Eingaben werden nur in der Be- rechnung verwendet, wenn "Indicator_UserIn- put_FractionSysG" WAHR ist (oder gleich 1)
Year_Installa- tion_SysW_G_Dec_GasTankless	Integer		Jahr des Einbaus	Gas-Durchlauferhitzer	unbekannt: -9999
Indicator_SysVent_Mechanical	Boolean		Lüftungsanlage		mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Year_Installation_SysVent_Mechani- cal	Integer		Jahr des Einbaus	Lüftungsanlage	unbekannt: -9999
Indicator_SysVent_HeatRec	Boolean		Lüftungsanlage mit Wärmerückgewin- nung	Lüftungsanlage	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden

Variable / Datenfeldname	Daten- format	Einheit	Bezeichnung		Anmerkung
eta_SysVent_HeatRec	Real		Effizienz der Wärmere- rückgewinnung / Temperaturbereitstel- lungsgrad	Lüftungsanlage	
Indicator_SysPV	Boolean		Photovoltaik-Anlage (PV)	Solarstrom-Anlage)	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Indicator_SysPV_ElectricStorage	Boolean		elektrischer Speicher vorhanden	erhöht den Deckungsanteil der PV-Anlage	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden
Year_Installation_SysPV	Integer		Jahr des Einbaus	Photovoltaik-Anlage (So- larstrom)	unbekannt: -9999
Indicator_SysHW_D_S_ExtraThick- Insulation	Boolean		Extra-dicke Däm- mung von Kompo- nenten	Dämmstärke von Leitun- gen (doppelter Leitungs- durchmesser) und Spei- cher entsprechend Passiv- haus-Empfehlungen	mögliche Einträge: 0 nicht vorhanden 1 vorhanden

B.2 Übersicht Excel-Werkzeug „EnergyProfile“

Bild 35: Schema des „EnergyProfile“-Tools



B.3 Erfassungsbögen für ein Beispielgebäude

B.3.1 Energieprofil-Monitoring-Indikatoren (Hauptfragebogen für Gebäudeeigentümer)

Bild 36: Erfassung Gebäude (Energieprofil-ZustandsIndikatoren)

Energieprofil		Fragebogen Gebäude																																																																									
Gebäude-Einheit	DE.MOBASY.NH.0015.01	Anzahl Häuser	1																																																																								
Variante	Ist-Zustand	Anzahl Blöcke	1																																																																								
beheizte Wohnfläche	1536 m ²	Baujahr	1976																																																																								
Anzahl Wohnungen	22	Jahr des hier dargestellten Zustands	2018																																																																								
Anzahl Vollgeschosse (ohne Dach- und Kellergeschoss)	7	lichte Raumhöhe	#NV																																																																								
		(Eintrag nur wenn < 2,30 m oder > 2,70 m)																																																																									
direkt angrenzende Nachbargebäude ☒ keins (freistehend) ☐ auf einer Seite ☐ auf zwei Seiten ☐ keine Angabe / unbekannt		Grundriss ☐ kompakt ☐ normal ☒ komplex / langgestreckt ☐ keine Angabe / unbekannt																																																																									
Dach ☒ Flachdach oder flach geneigtes Dach ☐ Dachgeschoss unbeheizt ☐ Dachgeschoss teilweise beheizt ☐ Dachgeschoss voll beheizt ☐ keine Angabe / unbekannt ☐ Dachgauben oder andere Dachaufbauten vorhanden		Keller ☐ nicht unterkellert ☒ Kellergeschoss unbeheizt ☐ Kellergeschoss teilweise beheizt ☐ Kellergeschoss voll beheizt ☐ keine Angabe / unbekannt ☒ Kellerboden und -wände gedämmt																																																																									
Thermische Hülle (nicht-transparente Elemente)																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Konstruktionsart</th> <th colspan="5">Dämmung</th> <th rowspan="2">Innendämmung der Wände</th> <th rowspan="2">Dämmstärke</th> <th rowspan="2">cm</th> <th rowspan="2">% der Fläche</th> <th rowspan="2"></th> </tr> <tr> <th>massiv</th> <th>Holz</th> <th>keine</th> <th>original</th> <th>Modernisierung keine Angabe / unbekannt</th> <th>Jahr der Modernisierung</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dach</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>2010</td> <td></td> <td>10</td> <td>cm</td> <td>100</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>oberste Geschossd.</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>#NV</td> <td></td> <td>#NV</td> <td>cm</td> <td>#NV</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Außenwände</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>2010</td> <td></td> <td>14</td> <td>cm</td> <td>100</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Fußboden</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>#NV</td> <td></td> <td>0</td> <td>cm</td> <td>0</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>					Konstruktionsart		Dämmung					Innendämmung der Wände	Dämmstärke	cm	% der Fläche		massiv	Holz	keine	original	Modernisierung keine Angabe / unbekannt	Jahr der Modernisierung		Dach	☒	☐	☐	☐	☒	☐	2010		10	cm	100	%	oberste Geschossd.	☒	☐	☐	☐	☒	☐	#NV		#NV	cm	#NV	%	Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	☐	2010		14	cm	100	%	Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	☐	#NV		0	cm	0	%
	Konstruktionsart		Dämmung					Innendämmung der Wände	Dämmstärke	cm	% der Fläche																																																																
	massiv	Holz	keine	original	Modernisierung keine Angabe / unbekannt	Jahr der Modernisierung																																																																					
Dach	☒	☐	☐	☐	☒	☐	2010		10	cm	100	%																																																															
oberste Geschossd.	☒	☐	☐	☐	☒	☐	#NV		#NV	cm	#NV	%																																																															
Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	☐	2010		14	cm	100	%																																																															
Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	☐	#NV		0	cm	0	%																																																															
bei ungedämmten Außenwänden: Dämmung von außen möglich? ☐ ja ☐ teilweise ☐ nein ☒ k.A. / unbekannt																																																																											
Fenster																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2">% der Fensterfläche</th> <th colspan="4">Verglasung</th> <th colspan="5">Rahmen</th> <th rowspan="2">gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)</th> <th rowspan="2">Jahr des Fenstereinbaus (ca.):</th> </tr> <tr> <th>1 Scheibe</th> <th>2 Scheiben</th> <th>3 Scheiben</th> <th>keine Angaben / unbekannt</th> <th>Wärmeschutz-Vergl.</th> <th>Holzrahmen</th> <th>Kunststoffrahmen</th> <th>Alu- oder Stahlrahmen</th> <th>andere</th> <th>unbekannt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Haupttyp Fenster</td> <td></td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>1990</td> </tr> <tr> <td>weiterer Typ Fenster</td> <td>0 %</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>#NV</td> </tr> </tbody> </table>					% der Fensterfläche	Verglasung				Rahmen					gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):	1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Wärmeschutz-Vergl.	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere	unbekannt	Haupttyp Fenster		☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐		1990	weiterer Typ Fenster	0 %	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐		#NV																					
	% der Fensterfläche	Verglasung				Rahmen					gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):																																																															
		1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Wärmeschutz-Vergl.	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere			unbekannt																																																														
Haupttyp Fenster		☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐		1990																																																														
weiterer Typ Fenster	0 %	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐		#NV																																																														
(Rest = Haupttyp Fenster) (U ≤ 0.8 W/(m²K))																																																																											

Bild 37: Erfassung Anlagentechnik (Energieprofil-Zustandsindikatoren)

Energieprofil		Fragebogen Wärmeversorgung		Nutzung für Installation		Jahr der Installation (grob / geschätzt)
Gebäude	DE.MOBASY.NH.0015.01	Standort Wärmeerzeugung überwiegend		Heizung	Warmwasser	Gesamtes System
Variante	Ist-Zustand	☐ Quartier/Stad ☐ Wohnung ☒ Block ☐ Raum ☐ Gebäude ☐ k.A.				
Wärmeerzeugung - Zentralheizung Gebäude oder Wohnung						
Wärmeerzeuger, die über ein Wärmeverteilsystem mehrere Räume mit Wärme versorgen						
☒ Kessel (Öl oder Gas)	Brennstoff ☒ Erdgas ☐ Heizöl ☐ Flüssiggas ☐ k.A.	Kesseltyp ☐ Konstanttemperatur ☒ Niedertemperatur ☐ Brennwert ☐ k.A.	☒	☒	#NV	Jahr
☐ Holzkessel / Feststoffkessel	Brennstoff ☐ Scheitholz ☐ Holzpellets ☐ Holzhackschnitzel ☒ Kohle ☐ andere ☐ k.A.		☐	☐	#NV	Jahr
☐ Wärmepumpe	Wärmequelle ☐ zusätzlich direkt elektrisch ☐ Außenluft ☐ Abluft ☐ Erdreich/Grundwasser ☐ Kellerluft ☒ k.A.		☐	☐	#NV	Jahr
☐ Direkt-elektrisch zentral (ein System für mehrere Räume)			☐	☐	#NV	Jahr
☐ thermische Solaranlage			☐	☐	#NV	Jahr
☐ Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	Brennstoff ☐ Erdgas ☐ Heizöl ☐ Bio ☐ andere ☒ k.A.		☐	☐	#NV	Jahr
☐ Fern-/Nahwärme	Brennstoff ☐ fossil ☐ Biomasse	Wärmeerzeugung ☐ Heizwerk (Kessel) ☐ Heizkraftwerk / BHKW	☐	☐	#NV	Jahr
Pufferspeicher für Heizung						
☐	☐ inklusive elektrischem Heizstab ☐ Heizungspufferspeicher innerhalb der thermischen Hülle	Jahr der Installation	#NV	Jahr		
☒ Heizwärmeverteilung	☒ teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss) ☐ Nur mäßige oder unvollständige Leitungsdämmung ☐ Fußbodenheizung / niedrige Verteilernetztemperatur	Jahr der Installation	#NV	Jahr		
Dezentrale / raumweise Heizung						
☐ Einzelöfen	☐ Holz ☐ Gas ☐ Heizöl ☐ Kohle ☒ k.A.	Jahr	#NV	Jahr		
☐ Elektro-Heizgeräte / Elektro-Öfen		Jahr	#NV	Jahr		
☐ elektrische Nachtspeicherheizung		Jahr	#NV	Jahr		
☐ elektrische Wärmepumpen (raumweise)		Jahr	#NV	Jahr		
Extra-dicke Dämmung von Komponenten						
Dämmstärke von Leitungen (doppelter Leitungsdurchmesser) und Speicher entsprechend Passivhaus-Empfehlungen						
Wärmwasserspeicher						
☒	☐ inklusive elektrischem Heizstab ☐ Warmwasserspeicher innerhalb der thermischen Hülle	Jahr der Installation	#NV	Jahr		
Warmwasserverteilung						
☒	☒ mit Zirkulationsleitung ☒ teilweise außerhalb der thermischen Hülle (in unbeheiztem Keller oder Dachgeschoss) ☒ Nur mäßige oder unvollständige Leitungsdämmung	Jahr der Installation	#NV	Jahr		
Dezentrale Warmwasserbereitung						
☐ dezentrale elektrische Speicher		Jahr	#NV	Jahr		
☐ Elektro-Durchlauferhitzer		Jahr	#NV	Jahr		
☐ Gas-Durchlauferhitzer		Jahr	#NV	Jahr		
Weitere Systeme						
☐ Lüftungsanlage		Jahr	#NV	Jahr		
☐ mit Wärmerückgewinnung		Jahr	#NV	Jahr		
☐ Photovoltaik-Anlage (Solarstrom)		Jahr	#NV	Jahr		
☐ mit Batterie-Speicher		Jahr	#NV	Jahr		

2021-01-28 22:35

Bild 38: Erfassung Energieverbrauch

Energieprofil					Fragebogen Messwerte Verbrauch				
Gebäude		DE.MOBASY.NH.0015.01			beheizte Wohnfläche		1536 m ²		
Verbrauchsangabe		Messstelle			Gemessene Größe		Messstelle		
n für Fläche		M1	M2	M3			M1	M2	M3
		1472	1536	1536					
von	bis	M1	M2	M3					
1	31.12.2015	0	0	0					
2	01.01.2016	193202	58629	720,137					
3	01.01.2017	191770	56876	538,267					
4	01.01.2018	0	0	0					
5	01.01.2019	0	0	0					
6	01.01.2020	0	0	0					
7	01.01.2021	#NV	0	0					
8	#NV	0	0	0					
9	#NV	0	0	0					
10	#NV	0	0	0					
11	#NV	0	0	0					
12	#NV	0	0	0					
13	#NV	0	0	0					
14	#NV	0	0	0					
15	#NV	0	0	0					
16	#NV	0	0	0					
17	#NV	0	0	0					
18	#NV	0	0	0					
19	#NV	0	0	0					
20	#NV	0	0	0					
21	#NV	0	0	0					
22	#NV	0	0	0					
23	#NV	0	0	0					
24	#NV	0	0	0					
25	#NV	0	0	0					
26	#NV	0	0	0					
27	#NV	0	0	0					
28	#NV	0	0	0					
29	#NV	0	0	0					
30	#NV	0	0	0					
31	#NV	0	0	0					
32	#NV	0	0	0					
33	#NV	0	0	0					
34	#NV	0	0	0					
35	#NV	0	0	0					
36	#NV	0	0	0					
37	#NV	0	0	0					
38	#NV	0	0	0					
39	#NV	0	0	0					
40	#NV	0	0	0					
Angaben zur Vollständigkeit Der Energiebezug für die Gebäudebeheizung ist damit vollständig. ☒ ja ☐ nein ☐ unbekannt ☐ k.A. Der Energiebezug für die Warmwasserbereitung - sofern in den Verbrauchsangaben enthalten - ist vollständig. Die Messwerte gelten für die genannte Fläche. Andere Flächen werden nicht versorgt. ☒ ja ☐ nein ☐ unbekannt ☐ k.A.					Gemessene Größe Heizöl ☒ ☐ ☐ Erdgas ☐ ☐ ☐ Flüssiggas ☐ ☐ ☐ Holzpellets ☐ ☐ ☐ Scheitholz ☐ ☐ ☐ Kohle ☐ ☐ ☐ Strom ☐ ☐ ☐ Strom-Sondertarif ☐ ☐ ☐ Wärmemenge ☐ ☒ ☐ Warmwasser-Volumen ☐ ☐ ☒ andere: ☐ ☐ ☐ nicht belegt ☐ ☐ ☐				
Angaben in: kWh* ☒ ☐ ☐ MWh* ☐ ☐ ☐ Liter (Abk. "l") ☐ ☐ ☐ m ³ , cbm (Kubikmeter) ☐ ☐ ☒ kg ☐ ☐ ☐ Tonnen ☐ ☐ ☐ Raummeter, Ster [1] ☐ ☐ ☐ Schüttkubikmeter [2] ☐ ☐ ☐ Festmeter ☐ ☐ ☐ andere: ☐ ☐ ☐					Verwendung für: Heizung ☒ ☐ ☐ Warmwasser ☒ ☒ ☒ Kühlung / Klimatisierung ☐ ☐ ☐ Lüftungsanlage (Strom) ☐ ☐ ☐ Pumpen, Regelung, etc. ☐ ☐ ☐ Haushaltsstrom ☐ ☐ ☐ Kochen ☐ ☐ ☐ andere ☐ ☐ ☐				
Angaben zu Teilmessungen In M1 ist enthalten: ☐ ☒ ☒ In M2 ist enthalten: ☐ ☐ ☒					Besonderheiten Messung in den Wohnungen (ohne Verteilverluste im ganzen Haus, bei MFH) ☐ ☐ ☒ Messung in separater Heizzentrale (inkl. Verteilverluste Erdreich) ☐ ☐ ☐				
Erläuterungen [1] Raummeter, Ster: Stapelvolumen in m ³ [2] Schüttkubikmeter: Schüttvolumen in m ³ [3] oberer Heizwert = Brennwert									

B.3.2 Zusätzliche Eingaben / Erfassung durch Experten

Bild 39: Zusatz-Informationen / Experten-Eingaben

Energieprofil		Thermische Hülle - zusätzliche Eingaben für Experten																																										
Gebäude-Einheit	DE.MOBASY.NH.0015.01	beheizte Wohnfläche	1536 m ²																																									
Experten-Eingaben für den Energieprofil-Fragebogen																																												
Wärmebrücken und Dichtheit der Hülle																																												
Wärmebrücken Anhaltspunkte für Einordnung: zusätzliche Transmissionswärmeverluste, wenn bekannt Werte in [W/m²K], bezogen auf Hüllfläche, Werte basieren auf Außenmaß ☐ minimal ≤ 0,01 ☐ sehr gering > 0,01 & ≤ 0,03 ☒ gering > 0,03 & ≤ 0,07 ☐ mittel > 0,07 & ≤ 0,12 ☐ hoch > 0,12 ☐ k.A. keine Durchdringungen der Hüllfläche mit Elementen deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten ohne Stahl- oder Beton-Elemente; (2) Best-Practice-Neubauten mit minimierten Wärmebrücken keine relevanten Durchdringungen der Hüllfläche mit Elementen deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten mit nur wenig Stahl- oder Beton-Elementen; (2) Best-Practice-Modernisierungen mit minimierten Wärmebrücken nur geringfügige Durchdringungen von Dämmschichten relevante konstruktive Wärmebrücken; z.B. Innendämmung in Gebäuden mit Holzbalkendecken sehr relevante konstruktive Wärmebrücken; z.B. Beton durchdringt Dämmebene keine Angaben / unbekannt ☐ Low = verwendet in der Berechnung																																												
Effect of air infiltration Indication: blower door result n_50 [1/h] ☐ Minimal ≤ 0,6 ☐ Low > 0,6 & ≤ 1,0 ☐ Medium > 1,0 & ≤ 3,0 ☐ High > 3,0 ☒ k.A. sehr luftdicht; z.B. Massbauten mit massiven Decken und sehr dichten Fenstern / Holzbauten mit Dichtheitskonzept und messtechnischer Überprüfung (Blower-Door-Messung) luftdicht; z.B. Massbauten mit massiven Decken und dichten Fenstern / Holzbauten mit Dichtheitskonzept und messtechnischer Überprüfung (Blower-Door-Messung) Massbauten ohne besondere Maßnahmen bzw. Bestand offensichtliche Undichtigkeiten (z.B. bei Fenstern ohne funktionstüchtige Lippendichtungen, bei beheizten Dachgeschossen mit Dachflächen ohne luftdichte Ebene) keine Angaben / unbekannt ☐ Low = verwendet in der Berechnung																																												
Details der Wärmedämmung		Fenster – Hersteller-Angaben																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>zusätzliche Dämmung</th> <th>vorhandene Konstruktion ausgetauscht</th> <th>vorhandene Dämmung ausgetauscht</th> <th>k.A.</th> <th>effektive Wärmeleitfähigkeit</th> <th>Lambda W/(m²K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dach</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>oberste Geschossd.</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td></td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>Außenwände</td> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> <td>0,035</td> </tr> <tr> <td>Fußboden</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☒</td> <td></td> <td>0,040</td> </tr> </tbody> </table>		zusätzliche Dämmung	vorhandene Konstruktion ausgetauscht	vorhandene Dämmung ausgetauscht	k.A.	effektive Wärmeleitfähigkeit	Lambda W/(m ² K)	Dach	☒	☐	☐	☐		0,040	oberste Geschossd.	☐	☐	☐	☒		0,040	Außenwände	☒	☐	☐	☐		0,035	Fußboden	☐	☐	☐	☒		0,040	U-Wert Gesamt-Fenster (Verglasung + Rahmen) - Angaben des Herstellers / Eingabe alternativ zur Auswahl der Art von Verglasung und Rahmen <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>W/(m²K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Haupttyp Fenster</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>weiterer Typ Fenster</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> Wenn hier ein Wert eingegeben wird, wird die Eingabe von Fenstertypen im Energieprofil-Fragebogen inaktiv.			W/(m ² K)	Haupttyp Fenster	0	weiterer Typ Fenster	0
	zusätzliche Dämmung	vorhandene Konstruktion ausgetauscht	vorhandene Dämmung ausgetauscht	k.A.	effektive Wärmeleitfähigkeit	Lambda W/(m ² K)																																						
Dach	☒	☐	☐	☐		0,040																																						
oberste Geschossd.	☐	☐	☐	☒		0,040																																						
Außenwände	☒	☐	☐	☐		0,035																																						
Fußboden	☐	☐	☐	☒		0,040																																						
	W/(m ² K)																																											
Haupttyp Fenster	0																																											
weiterer Typ Fenster	0																																											
Anmerkungen zur Dateneingabe																																												
Anmerkung 1	Nassauische Heimstätte Wohnungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH, Frankfurt/Main																																											
Anmerkung 2	Modernisierung 2010																																											
Anmerkung 3	Angabe kein angrenzendes Nachbargebäude, da angrenzende Fläche kleiner als die Hälfte der Gebäud																																											
Anmerkung 4	Modernisierung																																											
Anmerkung 5	2010																																											
Einstellungen für die "Energieprofil"-Datenermittlung																																												
Art der Variablen zur Bestimmung der TABULA Referenzfläche																																												
Fläche für die Skalierung der Gebäudegröße																																												
beheizte Fläche ☒ gesamtes Gebäudes ☐ Erdgeschoss Flächentyp ☐ beheizte Bruttogrundfläche ☐ beheizte Nettogrundfläche ☐ beheizte Nutzfläche ☒ beheizte Wohnfläche ☐ TABULA Referenzfläche beheizte Wohnfläche																																												

B.3.3 Alternative Eingabe von Modell-Eingangsvariablen

Bild 40: Alternative Eingabe von Flächen und U-Werten

Energieprofil
Thermische Hülle - alternative manuelle Eingabe

Gebäude-Einheit

DE.MOBASY.NH.0015.01

beheizte Wohnfläche

1536 m²

Direkte Eingabe von Energiebilanz-Eingangsdaten

Auswahl des Eingabedatentyps für die Berechnung

Eingabe der Hüllfläche	nicht definiert	keine Angabe / nicht definiert
Thermische Eigenschaften der Gebäudehülle	nicht definiert	keine Angabe / nicht definiert
Fensterflächen nach Orientierung	nicht definiert	keine Angabe / nicht definiert
Nutzbare (Dach-)Flächen für aktiv-solare Systeme	nicht definiert	keine Angabe / nicht definiert

Eingabe von Energiebilanz-Eingangsdaten (alternativ zu den Energieprofil-Indikatoren)

Beschreibung	Fläche der thermischen Hülle (Außenmaß des Gebäudes) m ²	U-Wert W/(m ² K)	g-Wert Gesamtenergiedurchlassgrad für Einstrahlung senkrecht zur Scheibe m ² K/W	zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand Berücksichtigung angrenzender unbeheizter Räume m ² K/W	Reduktionsfaktor Erdreich
Thermische Hülle					
Dach 1	Dach	#NV	#NV	#NV	#NV
Dach 2	oberste Geschossdecke	#NV	#NV	#NV	#NV
Außenwand 1	Außenwand gegen Außenluft	#NV	#NV	#NV	#NV
Außenwand 2	Wand gegen Kellerraum	#NV	#NV	#NV	#NV
Außenwand 3	Wand gegen Erdreich	#NV	#NV	#NV	#NV
Fußboden 1	Kellerdecke	#NV	#NV	#NV	#NV
Fußboden 2	Boden gegen Erdreich	#NV	#NV	#NV	#NV
Fenster Typ 1	Fenster Typ 1	#NV	#NV	#NV	#NV
Fenster Typ 2	Fenster Typ 2	#NV	#NV	#NV	#NV
Außentür	Außentür	#NV	#NV	#NV	#NV

Fensterflächen nach Orientierung (für die Ermittlung der passiv-solaren Wärmegewinne)	m ²	Standardwerte:
Horizontal	#NV	Außenluft 0,0 1,0
Ost	#NV	unbeheizter Bereich 0,3 1,0
Süd	#NV	unbeheizter Keller 0,3 0,5
West	#NV	Erdreich 0,0 0,5
Nord	#NV	

Hinweis: Falls die Summe der Teilflächen nicht gleich der Summe der für die Transmissionswärmeverluste angesetzten Fensterflächen ist, wird in der Berechnung eine Anpassung entsprechend der Flächenanteile der hier eingegebenen Zahlen vorgenommen.

Weitere Angaben zur Hülle	
Wärmebrücken: Aufschlag auf alle U-Werte (zu beachten: externe Dimensionen dienen als Referenz für die Definition der Hüllfläche)	#NV W/(m ² K)
Luftwechsel durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle (effektiver Wert in der Heizzeit)	#NV 1/h

Nutzbare (Dach-)Flächen für aktiv-solare Systeme	Orientierung überwiegend Orientierung der nutzbaren Flächen	Neigungswinkel überwiegende Neigung; Werte zwischen 0° (horizontal) und 90° (vertikal)	nutzbare Fläche Bruttofläche mit der gegebenen Orientierung und Neigung
Teilfläche 1	- nicht bekannt -	#NV	#NV m ²
Teilfläche 2	- nicht bekannt -	#NV	#NV m ²

B.3.4 Einstellungen zur Datenaufnahme und zu den Randbedingungen der Bilanzierung

Bild 41: Einstellungen Datenquellen

Energieprofil		Fragebogen Datenquellen					
Gebäude Variante	DE.MOBASY.NH.0015.01 Ist-Zustand	Diese Angaben haben Auswirkungen auf die Abschätzung der Unsicherheit der Energiebilanzberechnung.					
Gebäudehülle		Planungsdaten + Qualitätssicherung	Planungsdaten (z.B. Energieausweis)	Vor-Ort-Erhebung (Begehung) oder Foto-Dokumentation	Akten / Angaben Gebäude-eigentümer	keine Datenquelle	keine Information über die Datenquelle
alternativ: gesamt oder einzeln							
☐ Gebäudehülle gesamt		☐	☐	☒	☐	☐	☐
☒ Einzelangaben Gebäudehülle							
Fläche der Hülle		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmedurchlässigkeit Gebäudehülle							
Dach / ob. Geschossdecke		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Außenwand		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fenster		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fußboden / Kellerdecke		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmebrücken		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmeversorgung							
System Heizung		☐	☐	☒	☐	☐	☐
ggf. inklusive Lüftungsanlage							
System Warmwasser		☐	☐	☒	☐	☐	☐
Randbedingungen		objektbezogene Messdaten + Qualitätssicherung (z.B. wissenschaftliches Monitoring)	objektbezogene Messdaten	Erhebung / Klassifizierung Angaben Nutzer (Fragebogen)	keine Datenquelle	keine Angabe / keine Information über die Datenquelle	
Nutzung und Betrieb des Gebäudes							
Gebäudenutzung / übergeordnete Auswahl *		☐	☐	☐	☒	☐	
Raumtemperatur		☐	☐	☐	☒	☐	
Luftwechsel		☐	☐	☐	☒	☐	
effektive passiv-solare Apertur **		☐	☐	☐	☒	☐	
Interne Wärmequellen		☐	☐	☐	☒	☐	
Warmwasserzapfung (Eingangsdaten Energiebilanz)		☐	☐	☐	☒	☐	
*) Auswahl bei den Details nur wirksam wenn hier "nicht definiert" gewählt ist							
**) Fenstergröße und -orientierung, Verglasungsanteil, Verschattung, ...							
Betriebsführung		☐	☐	☐	☒	☐	
Klimadaten		☐	☒	☐	☐	☐	
Energieverbrauch		detaillierte Messdaten Gebäude	Daten aus der Abrechnung	Angaben Nutzer (Fragebogen)	keine Datenquelle zum Verbrauch	keine Information über die Herkunft der Angaben	
Gemessener Energieverbrauch für Heizung (und ggf. Warmwasser)							
Angaben zum Verbrauch		☐	☒	☐	☐	☐	
Wärme-/Energiesmessung Heizung		☐	☒	☐	☐	☐	
*) z.B. Zuordnung eines Anteils des gesamten Energieverbrauchs der Heizzentrale über Heizkostenverteiler							

Bild 42: Einstellungen für die Berechnung / Bibliotheken

Energieprofil	Einstellungen für die Berechnung																												
Gebäude Variante	DE.MOBASY.NH.0015.01 Ist-Zustand																												
Referenzierung von Daten in der Typologie-Bibliothek																													
Typologie-Bibliothek Code des Landes	tabula-values.xlsx DE																												
Klassifizierung U-Werte Klassifizierung Wärmeversorgung	MOBASY 1 1																												
Arbeitsmappe mit energetischen Eigenschaften von typischen Gebäude- und Anlagentechnik-Komponenten (Datenbibliothek) ISO 3166-1-alpha-2 Code, siehe Tabelle "Tab.Const.Country" in der Typologie-Bibliothek Version der nationalen Typisierung (hauptsächlich entsprechend Baualtersklasse); Eingabe für Standard/generisch = "Gen" Teil der Datensatz-ID in der Tabelle "Tab.U.Class.Constr" der Typologie-Bibliothek Version der nationalen Typisierung; erste der beiden Ziffern des Indexes der verschiedenen Komponenten Teil der Datensatz-ID in der Tabelle "Tab.System.1" der Typologie-Bibliothek																													
Art der Datenerfassung																													
Fläche für die Skalierung der Gebäudegröße beheizte Fläche ☒ gesamtes Gebäudes ☐ Erdgeschoss Flächentyp ☐ beheizte Bruttogrundfläche ☐ beheizte Nettogrundfläche ☐ beheizte Nutzfläche ☒ beheizte Wohnfläche ☐ TABULA Referenzfläche	Datenerfassung Wärmeversorgung Deckungsanteile Wärmeerzeuger ☐ Manuelle Eingabe der Anteile Die manuelle Eingabe ist nicht Teil der Basis-Monitoring-Indikatoren von "Energy Profile" und sollte nur in besonderen Fällen verwendet werden (z.B. Parameterstudien).																												
Klima für die Energiebilanz-Berechnung																													
Modus für die Berücksichtigung des realen Klimas																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Berücksichtigung des lokalen bzw. realen Klimas im Vergleich zwischen Verbrauch und Bedarf</th> <th style="width: 30%;">Energiebilanzberechnung</th> <th style="width: 20%;">Korrektur des Ergebnisses der Energiebilanz-Berechnung</th> <th style="width: 20%;">Korrektur des gemessenen Verbrauchs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>☐ 1 "Standard"</td> <td>Standardklima (national / regional)</td> <td>keine</td> <td>Nein</td> </tr> <tr> <td>☐ 2 "LocalTA"</td> <td>lokal, Langzeit-Mittelwert</td> <td>keine</td> <td>Nein</td> </tr> <tr> <td>☐ 3 "LocalPeriod"</td> <td>lokal, aktuelle Periode</td> <td>keine</td> <td>Nein</td> </tr> <tr> <td>☐ 4 "Standard_LocalTA"</td> <td>Standardklima (national / regional)</td> <td>lokal, Langzeit-Mittelwert</td> <td>Nein</td> </tr> <tr> <td>☐ 5 "Standard_LocalPeriod"</td> <td>Standardklima (national / regional)</td> <td>lokal, aktuelle Periode</td> <td>Nein</td> </tr> <tr> <td>☒ 6 "LocalTA_LocalPeriod"</td> <td>lokal, Langzeit-Mittelwert</td> <td>lokal, aktuelle Periode</td> <td>Nein</td> </tr> </tbody> </table>		Berücksichtigung des lokalen bzw. realen Klimas im Vergleich zwischen Verbrauch und Bedarf	Energiebilanzberechnung	Korrektur des Ergebnisses der Energiebilanz-Berechnung	Korrektur des gemessenen Verbrauchs	☐ 1 "Standard"	Standardklima (national / regional)	keine	Nein	☐ 2 "LocalTA"	lokal, Langzeit-Mittelwert	keine	Nein	☐ 3 "LocalPeriod"	lokal, aktuelle Periode	keine	Nein	☐ 4 "Standard_LocalTA"	Standardklima (national / regional)	lokal, Langzeit-Mittelwert	Nein	☐ 5 "Standard_LocalPeriod"	Standardklima (national / regional)	lokal, aktuelle Periode	Nein	☒ 6 "LocalTA_LocalPeriod"	lokal, Langzeit-Mittelwert	lokal, aktuelle Periode	Nein
Berücksichtigung des lokalen bzw. realen Klimas im Vergleich zwischen Verbrauch und Bedarf	Energiebilanzberechnung	Korrektur des Ergebnisses der Energiebilanz-Berechnung	Korrektur des gemessenen Verbrauchs																										
☐ 1 "Standard"	Standardklima (national / regional)	keine	Nein																										
☐ 2 "LocalTA"	lokal, Langzeit-Mittelwert	keine	Nein																										
☐ 3 "LocalPeriod"	lokal, aktuelle Periode	keine	Nein																										
☐ 4 "Standard_LocalTA"	Standardklima (national / regional)	lokal, Langzeit-Mittelwert	Nein																										
☐ 5 "Standard_LocalPeriod"	Standardklima (national / regional)	lokal, aktuelle Periode	Nein																										
☒ 6 "LocalTA_LocalPeriod"	lokal, Langzeit-Mittelwert	lokal, aktuelle Periode	Nein																										
Heizgrenztemperatur für die Klimadaten Heizgrenztemperatur 12 °C 10, 12 oder 15°C (empfohlen: 12°C)	Optionale manuelle Auswahl von Klimadaten Datensatz in der Typologie-Bibliothek (Arbeitsmappe "tabula-values.xlsx") ☐ Funktionale Auswahl auf der Basis des Ländercodes ☒ Manuelle Eingabe DE.N																												
Art der Klimabereinigung der Energiebilanz-Berechnung																													
Methode für die Korrektur ☐ nur Berücksichtigung von Temperaturdaten ☒ Berücksichtigung von Temperatur- und Solarstrahlungsdaten	Standort Realklima Datensatz in lokaler Klimadatenbank (reales Klima) (Arbeitsmappe "Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx") ☒ Funktionale Auswahl auf der Basis der Postleitzahl ☐ Manuelle Eingabe Standort-ID Datensatz 0 ☐ Manuelle Eingabe Klima-ID <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Datensatz</th> <th>Gewichtung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Temperaturdaten</td> <td>1 0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>2 0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>3 0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Solardaten</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Realklima-Zeitraum Art der Auswahl des Realklima-Zeitraums ☒ Funktionale Auswahl auf der Basis des Verbrauchszeitraums ☐ Manuelle Eingabe des Zeitraums erster Monat 2016 Anzahl der Jahre 2		Datensatz	Gewichtung	Temperaturdaten	1 0	0%	2 0	0%	3 0	0%	Solardaten	0																
	Datensatz	Gewichtung																											
Temperaturdaten	1 0	0%																											
	2 0	0%																											
	3 0	0%																											
Solardaten	0																												

Bild 43: Einstellungen für die Berechnung / Nutzungsdaten

Energieprofil

Einstellungen: Gebäudenutzung

Gebäude	DE.MOBASY.NH.0015.01
Variante	Ist-Zustand

Übergeordnete Einstellungen

Art der Dateneingabe

- ☐ Fragebogen (Erhebungsvariablen), siehe oben
☒ Energiebilanz-Eingangsvariablen, vordefiniert (siehe unten)
☐ Energiebilanz-Eingangsvariablen, individuelle Eingabe (siehe unten)
☐ je nach Vorhandensein: Fragebogen, Energiebilanz-Eingangsvariablen individuell oder Bibliothek
☐ nicht definiert

Energiebilanz-Eingangsvariablen

Datensatz in der Typologie-Bibliothek		individuelle Eingabe
vordefiniert		
Aktiv: x		
Datensatz-Identifikation (kein Eintrag: automatisch "EU.SUH" oder "EU.MUH")		DE.MOBASY.Development.*
Anmerkung	Dataset supplemented for the project MOBASY (target/actual comparison)	#NV
Raumtemperatur (muss bei alternativer Eingabe leer sein)		#NV #NV °C
zwei energetische Standards (Wärmetransferkoeffizient Transmission) als Referenzpunkte A und B für die Interpolation der nachfolgenden Größen	h_tr_A	0,40 0,40 W/(m²K)
	h_tr_B	2,80 2,80 W/(m²K)
Alternative Eingabe: Raumtemperatur bei zwei energetischen Standards	Wert bei h_tr_A	22,0 22,5 °C
	Wert bei h_tr_B	20,0 20,0 °C
Reduktionsfaktor Nachtabsenkung und räumliche Teilbeheizung	Wert bei h_tr_A	0,96 0,96
	Wert bei h_tr_B	0,91 0,91
Gebäude ohne Lüftungsanlage: durchschnittlicher Luftwechsel in der Heizzeit		0,40 0,20 1/h
Luftwechsel bedingt durch Nutzung (Öffnen von Fenstern und Türen)		
Gebäude mit Abluftanlage: durchschnittlicher Luftwechsel in der Heizzeit		
Anlagenluftwechsel		0,00 0,32 1/h
zusätzlicher Luftwechsel bedingt durch Öffnen von Fenstern und Türen		0,15 0,05 1/h
Gesamt-Luftwechsel bedingt durch Nutzung (Lüftungsanlage + Öffnen von Fenstern und Türen)		0,15 0,37 1/h
Gebäude mit WRG-Lüftungsanlage (balancierte Zu- und Abluft): durchschnittlicher Luftwechsel in der Heizzeit		
Anlagenluftwechsel		0,00 0,32 1/h
zusätzlicher Luftwechsel bedingt durch Öffnen von Fenstern und Türen		0,10 0,05 1/h
Gesamt-Luftwechsel bedingt durch Nutzung (Lüftungsanlage + Öffnen von Fenstern und Türen)		0,10 0,37 1/h
Referenz-Raumhöhe für den Luftwechsel (Standardwert 2.5 m) **		2,50 #NV m
mittlere Wärmeleistung der internen Wärmequellen pro m² Referenzfläche		3,1 3,0 W/m²
Reduktionsfaktor externe Verschattung, horizontale Orientierung		0,80 0,80
Reduktionsfaktor externe Verschattung, vertikale Orientierungen		0,60 0,70
Rahmenanteil Fenster		0,30 0,25
Reduktionsfaktor nicht-senkrechte Einstrahlung		0,90 0,90
Interne Wärmespeicherfähigkeit pro m² Referenzfläche		90 150 Wh/(m²K)
Nutzwärme Warmwasser		15 15 kWh/(m²a)
Temperaturdifferenz Erwärmung Warmwasser für das gezapfte Volumen		50 50 K
Alternative: gezapftes Warmwasservolumen (pro m² Referenzfläche)		259 259 Liter/(m²a)

*) h_tr = Wärmetransferkoeffizient Transmission, bezogen auf Referenzfläche; Werte zwischen h_tr = 1 und h_tr = 4 werden interpoliert

**) Referenz-Raumhöhe, verwendet zur Bestimmung des Referenzluftvolumens gemäß Definition des Luftwechsels

Bild 44: Einstellungen zum Verbrauch-Bedarf-Vergleich

Vergleich Berechnung mit Messung (Einstellungen zugeordnet zur gewählten Variante)

Vergleichszeitraum	Versionen des Verbrauch-Bedarf-Vergleichs								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Startjahr	2017	2017	2017	2017	2016	2016	2016	2016	0
Startmonat	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Anzahl Jahre	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Startdatum	01.01.2017	01.01.2017	01.01.2017	01.01.2017	01.01.2016	01.01.2016	01.01.2016	01.01.2016	#NV
Enddatum	31.12.2017	31.12.2017	31.12.2017	31.12.2017	31.12.2016	31.12.2016	31.12.2016	31.12.2016	#NV
Check: Messwerte vorhanden	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	#NV

Art des Vergleichs informativ, keine Auswirkung auf Messstellen-Auswahl, dient nur der Kategorisierung und Plausibilisierung

Heizung	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	"H"
Heizung + Warmwasser	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	"H+W"
Warmwasser (Wärmemenge)	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	"W"
Warmwasser-Volumen	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	"VolW"
anderer Vergleich	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	"Other"
nicht definiert	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	"_NA_"
	H+W	H	W	VolW	H+W	H	W	VolW	_NA_	

Berücksichtigung der Messstellen im Vergleich

Messstelle	M1	+	+	0	0	+	+	0	0	0
Messstelle	M2	0	-	+	0	0	-	+	0	0
Messstelle	M3	0	0	0	+	0	0	0	+	0

Plausibilitätsprüfung der Messtellenauswahl bezogen auf die üblichen Vergleichstypen

Berücksichtigen	H	+	+			+	+			
Berücksichtigen	W	+	+-	+	+	+	+-	+	+	
Typ bezogen auf H und W	H+W	H+W	H	W	W	H+W	H	W	W	
Prüfergebnis		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	.

B.4 Demo-Rechenblätter für ein Beispielgebäude

Bild 45: Parameter der Hüllflächenschätzung – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude



Thermal Envelope Area Estimation

Thermal envelope area estimation according to TABULA / Energy Profile method

Parameters

Building

Reference area $A_{C,Ref}$ m²

Area estimation parameter set

Input Data

Reference area (conditioned floor area)

Number of building blocks

Number of full storeys (not incl. cellar and attic)

Neighbour situation

Reference area and envelope situation in attic spaces

Reference area and envelope situation in basement spaces

Complexity of roof shape*

Complexity of footprint*

Clear ceiling height (averaged over full storeys)**

*) Optional input quantity, if not available standard values are used

**) Input only necessary if actual value is < 2.3m or > 2.7m, Otherwise the standard value 2.5m is used for calculation.

		Current value or selected TABULA code				
$A_{C,Ref}$		1689,3	m ²			
n_{Block}		1				
n_{Storey}		7				
$C_{Neighbour}$		N0				
$C_{Attic,Cond,Env}$		-	=>	$f_{Attic,Cond}$	0,0	$f_{Attic,Env}$ 0,0
$C_{Cellar,Cond,Env}$		N	=>	$f_{Cellar,Cond}$	0,0	$f_{Cellar,Env}$ 0,0
$C_{Cx,Roof}$		Standard				
$C_{Cx,Footprint}$		Complex				
$h_{Ceiling}$						

m

$h_{Ceiling}^{**}$ = $f_{Corr,ClgHeight}$

Ceiling height correction factor 2,5 m

Conditioned Reference Area per Storey

Effective number of storeys conditioned by the heating system (relevant is the conditioned reference area)

$$\frac{f_{Cellar,Cond}}{0,0} + \frac{n_{Storey}}{7,0} + 0,7 \cdot \frac{f_{Attic,Cond}}{0,0} = \frac{n_{Storey,Eff,Cond}}{7,0}$$

Conditioned reference area per storey (estimation)

$$\frac{A_{C,Ref}}{1689,3 \text{ m}^2} \cdot \frac{n_{Storey,Eff,Cond}}{7,0} = \frac{A_{C,Storey}}{241,3 \text{ m}^2}$$

Effective number of thermally enveloped storeys

$$\frac{f_{Cellar,Env}}{0,0} + \frac{n_{Storey}}{7,0} + 0,7 \cdot \frac{f_{Attic,Env}}{0,0} = \frac{n_{Storey,Env}}{7,0}$$

Parameters

Basic Parameters

Envelope area section	Depending on variable	Category (TABULA Code)	Specification	$f_{Attic,Cond}$	Roof		Upper ceiling	
					p m ² /m ²	q m ²	p m ² /m ²	q m ²
Roof / upper ceiling	$A_{C,Storey}$	-	Flat roof (no attic)	0	1,2	5		
		N	Attic not conditioned	0			1,2	5
		P	Attic partly conditioned	0,5	0,8	7	0,6	3
		C	Attic completely conditioned	1	1,6	15		
		NI	Attic not cond., insulated*	0	1,6	15		
		PI	Attic partly cond., insulated*	0,5	1,6	15		
	$C_{Attic,Cond,Env} =$	-	Current value	0	1,2	5	0,0	0

*) Attic not or only partly conditioned, thermal envelope in the plain of the roof area

Envelope area section	Depending on variable	Category (TABULA Code)	Specification	p m ² /m ²	q m ²
Windows	$A_{C,Ref}$			0,18	
Doors	$A_{C,Ref}$			0,01	1,5
Gross façade (walls + windows + doors)	$A_{C,Ref}$	N0	Detached building (0 Neighbour)		50
		N1	Semi-detached building (1 neighbour)	0,70	25
		N2	Terraced building (2 neighbours)		5
	$C_{Neighbour} =$	N0	Current value	0,70	50
Ground floor	$A_{C,Storey}$			1,20	5

Consideration of Complexity

Envelope area section	Category (TABULA Code)	Specification	Correction factor
Roof	Simple	Simple roof shape (not applicable in case of "flat roofs")	0,9
	Standard	Usual roof shape (or: information not available)	1,0
	Complex	Roof with several dormers or other complex shape	1,3
	$C_{Cx,Roof} =$	Standard	$f_{Cx,Roof} =$ 1,0
Gross façade (walls + windows + doors)	Simple	Simple square-type footprint shape	0,9
	Standard	Usual footprint shape (or: information not available)	1,0
	Complex	Building footprint is very complex or significantly stretched	1,2
	$C_{Cx,Footprint} =$	Complex	$f_{Cx,Footprint} =$ 1,2

Version: 2020-04-01

Bild 46: Schätzung der Hüllfläche – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude

Thermal Envelope Area Estimation

Thermal envelope area estimation according to TABULA / Energy Profile method

Calculation

Building

Reference area $A_{C,Ref}$ m²
 Area estimation parameter set

Estimation of Thermal Envelope Areas

Roof area

$$f_{Cx,Roof} \cdot \left(\frac{A_{C,Storey}}{m^2} \cdot \frac{p_{Roof}}{m^2/m^2} + \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Roof}}{m^2} \right) = \frac{A_{Estim,Roof}}{m^2}$$

$f_{Cx,Roof}$

$\left(\frac{A_{C,Storey}}{m^2} \cdot \frac{p_{Roof}}{m^2/m^2} + \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Roof}}{m^2} \right)$

$\frac{A_{C,Storey}}{m^2}$

$\frac{p_{Roof}}{m^2/m^2}$

$\frac{n_{Block}}{m^2}$

$\frac{q_{Roof}}{m^2}$

$=$ m²

Upper ceiling area

$$\frac{A_{C,Storey}}{m^2} \cdot \frac{p_{Ceiling}}{m^2/m^2} + \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Ceiling}}{m^2} = \frac{A_{Estim,Ceiling}}{m^2}$$

$\frac{A_{C,Storey}}{m^2}$

$\frac{p_{Ceiling}}{m^2/m^2} \cdot \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Ceiling}}{m^2}$

$\frac{p_{Ceiling}}{m^2/m^2}$

$\frac{n_{Block}}{m^2}$

$\frac{q_{Ceiling}}{m^2}$

$=$ m²

Gross façade area per storey

$$f_{Corr,ClgHeight} \cdot f_{Cx,Footprint} \cdot \left(\frac{A_{C,Storey}}{m^2} \cdot \frac{p_{Facade}}{m^2/m^2} + \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Facade}}{m^2} \right) = \frac{A_{Estim,Facade,Storey}}{m^2}$$

$f_{Corr,ClgHeight}$

$f_{Cx,Footprint}$

$\left(\frac{A_{C,Storey}}{m^2} \cdot \frac{p_{Facade}}{m^2/m^2} + \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Facade}}{m^2} \right)$

$\frac{A_{C,Storey}}{m^2}$

$\frac{p_{Facade}}{m^2/m^2}$

$\frac{n_{Block}}{m^2}$

$\frac{q_{Facade}}{m^2}$

$=$ m²

Door area

$$\frac{A_{C,Ref}}{m^2} \cdot \frac{p_{Door}}{m^2/m^2} + \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Door}}{m^2} = \frac{A_{Estim,Door}}{m^2}$$

$\frac{A_{C,Ref}}{m^2}$

$\frac{p_{Door}}{m^2/m^2} \cdot \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Door}}{m^2}$

$\frac{p_{Door}}{m^2/m^2}$

$\frac{n_{Block}}{m^2}$

$\frac{q_{Door}}{m^2}$

$=$ m²

Window area

$$\frac{A_{C,Ref}}{m^2} \cdot \frac{p_{Window}}{m^2/m^2} - \frac{A_{Estim,door}}{m^2} = \frac{A_{Estim,Window}}{m^2}$$

$\frac{A_{C,Ref}}{m^2}$

$\frac{p_{Window}}{m^2/m^2} - \frac{A_{Estim,door}}{m^2}$

$\frac{p_{Window}}{m^2/m^2}$

$\frac{A_{Estim,door}}{m^2}$

$=$ m²

Wall area adjacent to soil

$$f_{Wall,Soil} \cdot f_{Cellar,Env} \cdot \frac{A_{Estim,Facade,Storey}}{m^2} = \frac{A_{Estim,Wall,Soil}}{m^2}$$

$f_{Wall,Soil}$

$f_{Cellar,Env} \cdot \frac{A_{Estim,Facade,Storey}}{m^2}$

$f_{Cellar,Env}$

$\frac{A_{Estim,Facade,Storey}}{m^2}$

$=$ m²

Wall area (adjacent to external air)

$$\frac{n_{Storey,Env,Env}}{m^2} \cdot \frac{A_{Estim,Facade,Storey}}{m^2} - \frac{A_{Estim,Wall,Soil}}{m^2} - \frac{A_{Estim,Window}}{m^2} - \frac{A_{Estim,Door}}{m^2} = \frac{A_{Estim,Wall}}{m^2}$$

$\frac{n_{Storey,Env,Env}}{m^2}$

$\frac{A_{Estim,Facade,Storey}}{m^2} - \frac{A_{Estim,Wall,Soil}}{m^2} - \frac{A_{Estim,Window}}{m^2} - \frac{A_{Estim,Door}}{m^2}$

$\frac{A_{Estim,Facade,Storey}}{m^2}$

$\frac{A_{Estim,Wall,Soil}}{m^2}$

$\frac{A_{Estim,Window}}{m^2}$

$\frac{A_{Estim,Door}}{m^2}$

$=$ m²

Ground floor / basement area

$$\frac{A_{C,Storey}}{m^2} \cdot \frac{p_{Floor}}{m^2/m^2} + \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Floor}}{m^2} = \frac{A_{Estim,Floor}}{m^2}$$

$\frac{A_{C,Storey}}{m^2}$

$\frac{p_{Floor}}{m^2/m^2} \cdot \frac{n_{Block}}{m^2} \cdot \frac{q_{Floor}}{m^2}$

$\frac{p_{Floor}}{m^2/m^2}$

$\frac{n_{Block}}{m^2}$

$\frac{q_{Floor}}{m^2}$

$=$ m²

Conditioned gross building volume

$$\frac{f_{Corr,ClgHeight}}{m^3/m^2} \cdot \frac{A_{C,Ref}}{m^2} = \frac{V_c}{m^3}$$

$\frac{f_{Corr,ClgHeight}}{m^3/m^2}$

$\frac{A_{C,Ref}}{m^2}$

$=$ m³

Plausibility Check of Envelope Area Input Values

	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Window 1	Window 2	Door 1	Floor 1	Floor 2	Total
Input values $A_{env,i}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estimated values $A_{estim,env,i}$	295	0	1535	0	0	286	0	18	295	0	2428
Ratio input to estimated values	0%		0%			0%		0%			
Gross façade area						0%					
Total envelope						0%					

Used for further calculation	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Window 1	Window 2	Door 1	Floor 1	Floor 2
Estimated values	295	0	1535	0	0	286	0	18	295	0

Distribution of window areas	Horiz.	East	South	West	North
	0	143	0	143	0

	Ratio input to estimated	Lower plausibility limit		Upper plausibility limit		Result of envelope area plausibility check
		Criterium	Compliance	Criterium	Compliance	
Total envelope area	-	≥ 0%	-	≤ 0%	-	-
Roof to be applied*: WAHR	-	≥ 0%	-	≤ 0%	-	
Floor to be applied*: WAHR	-	≥ 0%	-	≤ 0%	-	
Window and door	-	≥ 0%	-	≤ 0%	-	

*) Only in case of simple geometries (no conditioned attic or cellar)

Version: 2020-04-01

114

Bild 47: U-Wert-Schätzung – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude

Thermal Insulation Measures										U-values		
building variant	code	EnergyProfile.Query.Current					construction year	1976				
description												
envelope area	$A_{env,i}$	Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	m^2
		295	0	1535	0	0	295	0	286	0	18	
Construction Types												
code		DE.MOB ASY.06. 1969- 1978.10		DE.MOB ASY.06. 1969- 1978.10			DE.MOB ASY.06. 1969- 1978.10		DE.MOB ASY.Ge n.2.NoC oating.- .Plastic.-		DE.MOB ASY.Ge n.2.NoC oating.- .Plastic.-	
U-value original state	$U_{original,i}$	0,60		1,00			1,00		2,70		2,70	$W/(m^2K)$
included insulation thickness	$d_{ins, included,i}$	27		0			0					mm
border type												
additional thermal resistance of unheated spaces	$R_{add,i}$	0,00		0,00			0,30					m^2K/W
effective U-value original state	$U_{original, effective,i}$	0,60		1,00			0,77		2,70		2,70	$W/(m^2K)$
Refurbishment Measures												
code								DE.MOB ASY.Ge n.- .NoCoati ng.-.-.-				
thermal resistance predefined measure	$R_{measure, predef,i}$	0,25		0,29			0,00					m^2K/W
insulation thickness predefined measure	$d_{insulation, predef,i}$	10		10			0					mm
actual insulation thickness	$d_{insulation,i}$	100		140			0					mm
thermal resistance of actual measure	$R_{measure,i}$	2,50		4,00			0,00		0,00		0,00	m^2K/W
effective thermal conductivity (indicative)	$\lambda_{insulation, effective,i}$	0,040		0,035								$W/m \cdot K$
Resulting U-values												
type of refurbishment		Add		Add			Add		Replace		Replace	
thermal resistance before measure	$R_{before,i}$	1,67		1,00			1,30		0,37		0,37	m^2K/W
after measure	$R_{measure, result,i}$	4,17		5,00			1,30		0,00		0,00	m^2K/W
U-value of refurbished area	$U_{measure, result,i}$	0,24		0,20			0,77		- 999999,		- 999999,	$W/(m^2K)$
area fraction of measure	$f_{measure,i}$	100%		100%			0%		0%		0%	
resulting U-value of construction element	$U_{actual,i}$	0,24		0,20			0,77		2,70		2,70	$W/(m^2K)$

Version: 2020-04-01

Bild 48: Energiebilanz Gebäude – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude

Energy Balance Calculation

Building Performance

Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 13790 / seasonal method

building	EnergyProfile.Query.Current (1976 ... 1976)				reference area	$A_{C,ref}$	1689,3	m ²
climate	<DE.PC.01.63303>. <BT12>. <LTA.2001.2020> (-)				(conditioned floor area)			

construction element	original U-value (not considering effect of adjacent unheated spaces)	measure type	nominal insulation thickness $d_{insulation,i}$	effective thermal fraction $\lambda_{insulation,i}$	area fraction $f_{measure,i}$	actual U-value $U_{actual,i}$	area (basis: external dimensions) $A_{env,i}$	adjustment factor soil $b_{tr,i}$	$H_{tr,i}$	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ $kWh/(m^2a)$
	$W/(m^2K)$		mm	$W/(m \cdot K)$		$W/(m^2K)$	m ²		W/K	
Roof 1	0,60	Add	100	0,040	100%	0,24	294,6	1,00	70,7	2,8
Roof 2										
Wall 1	1,00	Add	140	0,035	100%	0,20	1534,9	1,00	307,0	12,3
Wall 2										
Wall 3										
Floor 1	1,00					0,77	294,6	0,50	113,3	4,6
Floor 2										
Window 1	2,70	Replace				2,70	285,7	1,00	771,3	31,0
Window 2										
Door 1	2,70	Replace				2,70	18,4	1,00	49,7	2,0
thermal bridging: surcharge on the U-values						ΔU_{tb}	$\Sigma A_{env,i}$		$H_{tr,tb}$	
						0,05	2428,2	1,00	121,4	4,9
						related to: envelope area		reference area		
						0,59	0,85	sum	1433	57,6

Heat transfer coefficient by transmission H_{tr}

volume-specific heat capacity air $C_{p,air}$	air change rate by use $n_{air,use}$	air change rate by infiltration $n_{air,infiltration}$	$A_{C,ref}$	room height (standard value) h_{room}	H_{ve}	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ kWh/a
$Wh/(m^3K)$	1/h	1/h	m ²	m	W/K	
0,34	0,40	0,10	1689,3	2,50	718	28,8

Heat transfer coefficient by ventilation H_{ve}

internal temp. θ_i	external temp. θ_e	heating days d_{hs}	accumulated differences between internal and external temperature $\sum (\theta_i - \theta_e)$	H_{tr}	H_{ve}	temperature reduction factor F_{red} ($\eta_{h,g} = W/(m^2K)$)	K_d/a	Q_{ht}	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ kWh/a
°C	°C	d/a		W/K	W/K	$W/(m^2K)$	kWh/a		
21,6	5,4	189	3072	1433	718	0,92	73,7	146029	86,4

Total heat transfer Q_{ht}

reduction factors	solar energy transmittance $g_{gl,n}$	window area $A_{w,window,i}$	solar global radiation $I_{sol,i}$	Q_{sol}	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ kWh/a	
external shading F_{sh}	frame area fraction F_F	non-perpendicular F_W	m ²	$kWh/(m^2a)$		
Horizontal	0,80	0,30	0,90	0,76	318	0,0
East	0,60	0,30	0,90	0,76	142,8	4,1
South	0,60	0,30	0,90	0,76	329	0,0
West	0,60	0,30	0,90	0,76	234	5,7
North	0,60	0,30	0,90	0,76	118	0,0
sum					16625	9,8

Solar heat load during heating season Q_{sol}

internal heat sources	heating days d_{hs}	$A_{C,ref}$	Q_{int}	annual heat flow related to $A_{C,ref}$ kWh/a	
Wh/d	W/m^2	d/a	m ²		
0,024	3,10	189	1689,3	23804	14,1

Internal heat sources Q_{int}

internal heat capacity per m ² $A_{C,ref}$	c_m	time constant of the building τ	parameter a_H	heat balance ratio for the heating mode $\gamma_{h,g}$	gain utilisation factor for heating $\eta_{h,g}$
$Wh/(m^2K)$		h			
90		71	3,16	0,277	0,99

Energy need for heating $Q_{H,nd}$

$Q_{ht} - \eta_{h,g,n} \times (Q_{sol} + Q_{int})$	106110	62,8
--	--------	------

Version: 2020-04-01

Bild 49: Energiebilanz Wärmeversorgung – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude



Energy Balance Calculation

System Performance

Standard Reference Calculation - based on: EN ISO 15316 / level B (tabled values)

code

building EnergyProfile.Query.Current

system

conditioned floor area 1689,3 m²

$A_{C,ref}$

Domestic Hot Water System

system code

energy need hot water		$q_{nd,w}$	thereof recoverable for space heating:	
+ losses distrib.	DE.C_Circ_Ext.MUH.14	$q_{d,w}$ 6,4	$q_{d,w,h}$ 2,9	
+ losses storage	DE.S_C_Ext.MUH.12	$q_{s,w}$ 1,0	$q_{s,w,h}$ 0,0	
		$q_{g,w,out} = q_{nd,w} + q_{d,w} + q_{s,w}$ 22,4 kWh/(m ² a)	$q_{w,h} = q_{d,w,h} + q_{s,w,h}$ 2,9 kWh/(m ² a)	

energyware for domestic hot water		heat generator	expenditure factor	delivered energy	combined heat and power	expenditure factor	electricity production
code	code	$\alpha_{nd,w,i}$	$q_{g,w,out}$	$e_{g,w,i}$	$q_{del,w,i}$	$e_{g,el,w,i}$	$q_{prod,el,w,i}$
1 Gas	DE.B_NC_LT.MUH.11	100%	x 22,4	x 1,20 = 26,9	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	
2 -	-	0%	x -	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	
3 -	-	0%	x -	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	

related to gross kWh/(m²a) cabrific value

auxiliary energy code $q_{del,w,aux}$ 0,8 kWh/(m²a)

Heating System

system code

energy need space heating		$q_{nd,h}$	gain utilisation factor (heating contributions from DHW and vent. system)	
- usable contribution of hot water system	$\eta_{h,gn} \cdot q_{w,h}$	2,9 kWh/(m ² a)	$\eta_{h,gn} = \frac{1 - \gamma_{dH}}{1 - \gamma_{dH} + 1}$	
- usable contrib. of vent. heat recovery	$\eta_{h,gn} \cdot q_{ve,h,rec}$	0,0 kWh/(m ² a)		
+ losses distribution and heat emission	DE.C_Ext.MUH.14	$q_{d,h}$ 5,7 kWh/(m ² a)		
+ losses storage	-	$q_{s,h}$ 0,0 kWh/(m ² a)		
		$q_{g,h,out} = q_{nd,h} - q_{w,h} - q_{ve,h,rec} + q_{d,h} + q_{s,h}$ 65,6 kWh/(m ² a)		

energyware for space heating		heat generator	expenditure factor	delivered energy	combined heat and power	expenditure factor	electricity production
code	code	$\alpha_{nd,h,i}$	$q_{g,h,out}$	$e_{g,h,i}$	$q_{del,h,i}$	$e_{g,el,h,i}$	$q_{prod,el,h,i}$
1 Gas	DE.B_NC_LT.MUH.11	100%	x 65,6	x 1,18 = 77,4	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	
2 -	-	0%	x -	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	
3 -	-	0%	x -	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	x 0,00 = 0,0	

related to gross kWh/(m²a) cabrific value

auxiliary energy heating system code $q_{del,h,aux}$ 0,5 kWh/(m²a)

auxiliary energy ventilation system code $q_{del,v,aux}$ 0,0 kWh/(m²a)

for information: net energy need for heating $q_{nd,h,net} = q_{nd,h} - \eta_{h,gn} \cdot q_{ve,h,rec}$ 62,8 kWh/(m²a)

Electricity Production

PV module area peak power rated PV capacity (without frame) coefficient ("peak power")

calculation according to EN 15316-4-6 "Photovoltaic Systems"

code	$A_{pv,system}$	$K_{pv,p}$	$P_{pv,p}$	ratio of annual electricity output to rated PV capacity	rated PV capacity	annual electricity produced by PV panels	electricity prod. PV system per m ² ref.
	m ²	kW/m ²	kW	kWh/a/kW _p	kW	kWh/a	kWh/(m ² a)
	0,0	x 0,15	= 0,0	0	x 0,0	= 0	0,0
	0,0	x 0,15	= 0,0	0	x 0,0	= 0	0,0
Sum	0,0						0,0

Total electricity production $q_{prod,el} = \sum_i q_{prod,el,w,i} + \sum_i q_{prod,el,h,i} + q_{prod,el,pv}$ 0,0 kWh/(m²a)

Version: 2020-04-01

Bild 50: Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H+W“ – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude



Metered Consumption

Comparison to Calculation

Building code

conditioned floor area $A_{C,ref}$
 m²

Comparison Scope

from to Number of years

H+W

Relevant Metering

Code of the metering	Metered quantity	Conditioned floor area m ²	Utilisation	Metered energy		Consideration factor
				all balance years kWh	average year kWh/a	
M1 <EnergyProfile.Query.Current>.<M1>	Gas	1472,0	-H-W-	191770	191770	100%
M2 <EnergyProfile.Query.Current>.<M2>	Heat	1535,7	-W-	56876	56876	
M3 <EnergyProfile.Query.Current>.<M3>	Water_DHW	1535,7	-W-	25040	25040	

Annual metered consumption to be considered (comparison value)

kWh/a kWh/(m²a)

Comparison with Energy Balance Calculation

$A_{C,ref}$
 m²

DHW

	kWh/(m ² a)	Consideration factor
Net energy need	15,0	
Effective net energy need (considering heat recoveries)		
Heat losses storage	1,0	
Heat losses distribution	6,4	
Gross heat demand	22,4	

Space heating

Calculation	Climate adjusted	Consideration factor
62,8	63,3	
59,9	60,4	
0,0	0,0	
5,7	5,7	
65,6	66,1	

Climate adjustment factors

Heating degree days	1,01
Solar radiation	1,04

Effect of climate adjustment

Energy Carrier	Gas	-	-	El.Prod	El.Aux
Fraction of produced heat	100%	0%	0%		
Produced heat	22,4	0,0	0,0		
Consideration factor					
Delivered energy	26,9	0,0	0,0	0,0	0,8
Consideration factor	100%				

Energy Carrier	Gas	-	-	El.Prod	El.Aux
Fraction of produced heat	100%	0%	0%		
Produced heat	66,1	0,0	0,0		
Consideration factor					
Delivered energy	78,0	0,0	0,0	0,0	0,5
Consideration factor	100%				

Annual calculated demand to be considered (comparison value)

	Applicable for DHW	Applicable for Space heating
Heat demand	0,0 kWh/(m ² a)	0,0 kWh/(m ² a)
Heat generation	0,0 kWh/(m ² a)	0,0 kWh/(m ² a)
Energy carrier	26,9 kWh/(m ² a)	78,0 kWh/(m ² a)

Comparison value
 Sum of applicable values

kWh/a kWh/(m²a)

Relation metered to calculated

Comparison

[kWh/(m²a)]

Comment / Explanation

Version: 2020-04-01

Bild 51: Verbrauch-Bedarf-Vergleich „H“ – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude



Metered Consumption

Comparison to Calculation

Building code

conditioned floor area $A_{C,ref}$
 m²

Comparison Scope

from

to

Number of years

Relevant Metering

Code of the metering	Metered quantity	Conditioned floor area m ²	Utilisation	Metered energy		Consideration factor
				all balance years kWh	average year kWh/a	
M1 <EnergyProfile.Query.Current>.<M1>	Gas	1472,0	-H-W-	191770	191770	100%
M2 <EnergyProfile.Query.Current>.<M2>	Heat	1535,7	-W-	56876	56876	-100%
M3 <EnergyProfile.Query.Current>.<M3>	Water_DHW	1535,7	-W-	25040	25040	

Annual metered consumption to be considered (comparison value)

kWh/a kWh/(m²a)

Comparison with Energy Balance Calculation

$A_{C,ref}$
 m²

DHW

	kWh/(m ² a)	Consideration factor
Net energy need	15,0	
Effective net energy need (considering heat recoveries)		
Heat losses storage	1,0	
Heat losses distribution	6,4	
Gross heat demand	22,4	

Space heating

Calculation	Climate adjusted	Consideration factor
62,8	63,3	
59,9	60,4	
0,0	0,0	
5,7	5,7	
65,6	66,1	

Energy Carrier

Gas	-	-	El.Prod	El.Aux
100%	0%	0%		
22,4	0,0	0,0		
Consideration factor				

Delivered energy

26,9	0,0	0,0	0,0	0,8
Consideration factor				

Annual calculated demand to be considered (comparison value)

Applicable for DHW

	kWh/(m ² a)
Heat demand	0,0
Heat generation	0,0
Energy carrier	0,0

Applicable for Space heating

	kWh/(m ² a)
Heat demand	0,0
Heat generation	0,0
Energy carrier	78,0

Comparison value

Sum of applicable values

kWh/a kWh/(m²a)

Comparison

[kWh/(m²a)]

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

metered

calculated

Relation metered to calculated

1,02

Comment / Explanation

Version: 2020-04-01

119

Bild 52: Unsicherheit U-Werte – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude

Estimation of the Uncertainty

U-value Constructions

Thermal envelope area estimation according to TABULA method

Building

Reference area $A_{C,ref}$ m²

Uncertainty of U-values (opaque constructions)	Quantity	Unit	Value	Uncertainty		Sensitivity of U-value to change of quantity	Resulting uncertainty of effective U-value		Relevance of quantity for total uncertainty	
				Category			absolute	relative		
				absolute	relative					
Roof 1	Surface area	295 m ²								
U-value original construction	$U_{0,r}$	W/(m ² K)	0,60	D	+/- 0,18	+/- 30%	0,160	+/- 0,029	+/- 12%	39%
Area fraction with insulation	f_{Ins}	-	1,00	C	+/- 0,00	+/- 0%	-0,360	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Insulation thickness	d_{Ins}	m	0,10	C	+/- 0,02	+/- 20%	-1,440	+/- 0,029	+/- 12%	39%
Thermal conductivity of insulation	λ_{Ins}	W/(m·K)	0,040	C	+/- 0,006	+/- 15%	3,600	+/- 0,022	+/- 9%	22%
Resulting U-value	Effective U-Value	W/(m ² K)	0,24					Uncertainty +/- 0,05	+/- 19%	(100%)
Roof 2	Surface area	0 m ²								
U-value original construction	$U_{0,r}$	W/(m ² K)	0,77	D	+/- 0,23	+/- 30%	0,437	+/- 0,101	+/- 23%	19%
Area fraction with insulation	f_{Ins}	-	0,62	E	+/- 0,38	+/- 61%	-0,537	+/- 0,204	+/- 47%	76%
Insulation thickness	d_{Ins}	m	0,12	E	+/- 0,06	+/- 50%	-0,838	+/- 0,050	+/- 12%	5%
Thermal conductivity of insulation	λ_{Ins}	W/(m·K)	0,040	C	+/- 0,006	+/- 15%	2,515	+/- 0,015	+/- 3%	0%
Resulting U-value	Effective U-Value	W/(m ² K)	0,44					Uncertainty +/- 0,23	+/- 53%	(100%)
Wall 1	Surface area	1535 m ²								
U-value original construction	$U_{0,r}$	W/(m ² K)	1,00	D	+/- 0,30	+/- 30%	0,040	+/- 0,012	+/- 6%	12%
Area fraction with insulation	f_{Ins}	-	1,00	C	+/- 0,00	+/- 0%	-0,800	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Insulation thickness	d_{Ins}	m	0,14	C	+/- 0,02	+/- 14%	-1,143	+/- 0,023	+/- 11%	42%
Thermal conductivity of insulation	λ_{Ins}	W/(m·K)	0,035	C	+/- 0,005	+/- 15%	4,571	+/- 0,024	+/- 12%	46%
Resulting U-value	Effective U-Value	W/(m ² K)	0,20					Uncertainty +/- 0,04	+/- 18%	(100%)
Wall 2	Surface area	0 m ²								
U-value original construction	$U_{0,r}$	W/(m ² K)	1,00	D	+/- 0,30	+/- 30%	0,040	+/- 0,012	+/- 6%	12%
Area fraction with insulation	f_{Ins}	-	1,00	C	+/- 0,00	+/- 0%	-0,800	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Insulation thickness	d_{Ins}	m	0,14	C	+/- 0,02	+/- 14%	-1,143	+/- 0,023	+/- 11%	42%
Thermal conductivity of insulation	λ_{Ins}	W/(m·K)	0,035	C	+/- 0,005	+/- 15%	4,571	+/- 0,024	+/- 12%	46%
Resulting U-value	Effective U-Value	W/(m ² K)	0,20					Uncertainty +/- 0,04	+/- 18%	(100%)
Wall 3	Surface area	0 m ²								
U-value original construction	$U_{0,r}$	W/(m ² K)	1,00	D	+/- 0,30	+/- 30%	0,040	+/- 0,012	+/- 6%	12%
Area fraction with insulation	f_{Ins}	-	1,00	C	+/- 0,00	+/- 0%	-0,800	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Insulation thickness	d_{Ins}	m	0,14	C	+/- 0,02	+/- 14%	-1,143	+/- 0,023	+/- 11%	42%
Thermal conductivity of insulation	λ_{Ins}	W/(m·K)	0,035	C	+/- 0,005	+/- 15%	4,571	+/- 0,024	+/- 12%	46%
Resulting U-value	Effective U-Value	W/(m ² K)	0,20					Uncertainty +/- 0,04	+/- 18%	(100%)
Floor 1	Surface area	295 m ²								
U-value original construction	$U_{0,r}$	W/(m ² K)	0,77	D	+/- 0,23	+/- 30%	1,000	+/- 0,231	+/- 30%	100%
Area fraction with insulation	f_{Ins}	-		C	+/- 0,00	+/- 0%	0,000	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Insulation thickness	d_{Ins}	m		C	+/- 0,00	+/- 0%	0,000	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Thermal conductivity of insulation	λ_{Ins}	W/(m·K)	0,040	C	+/- 0,006	+/- 15%	0,000	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Resulting U-value	Effective U-Value	W/(m ² K)	0,77					Uncertainty +/- 0,23	+/- 30%	(100%)
Floor 2	Surface area	0 m ²								
U-value original construction	$U_{0,r}$	W/(m ² K)	1,00	D	+/- 0,30	+/- 30%	1,000	+/- 0,300	+/- 30%	100%
Area fraction with insulation	f_{Ins}	-		C	+/- 0,00	+/- 0%	0,000	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Insulation thickness	d_{Ins}	m		C	+/- 0,00	+/- 0%	0,000	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Thermal conductivity of insulation	λ_{Ins}	W/(m·K)	0,040	C	+/- 0,006	+/- 15%	0,000	+/- 0,000	+/- 0%	0%
Resulting U-value	Effective U-Value	W/(m ² K)	1,00					Uncertainty +/- 0,30	+/- 30%	(100%)

Version: 2020-04-01

Bild 53: Unsicherheit Energiebilanz – Demo-Rechenblatt / Beispielgebäude

Estimation of the Uncertainty

building

DE.MOBASY.NH.0015.01

reference area

$A_{c,ref}$

1689,3

m²

Number of dwellings

22

Reduction factor multi-dwelling

0,21

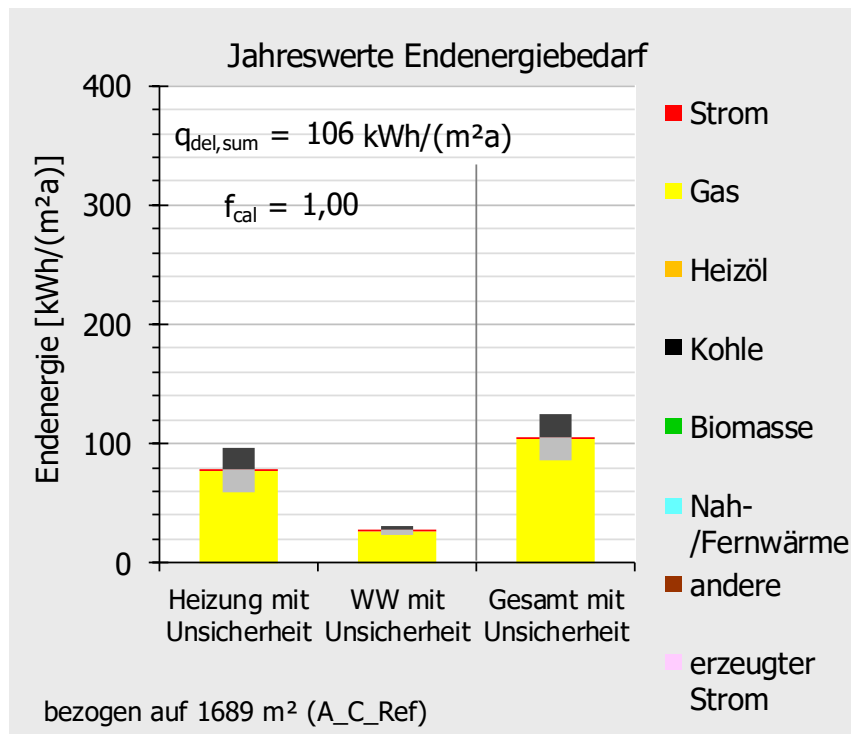
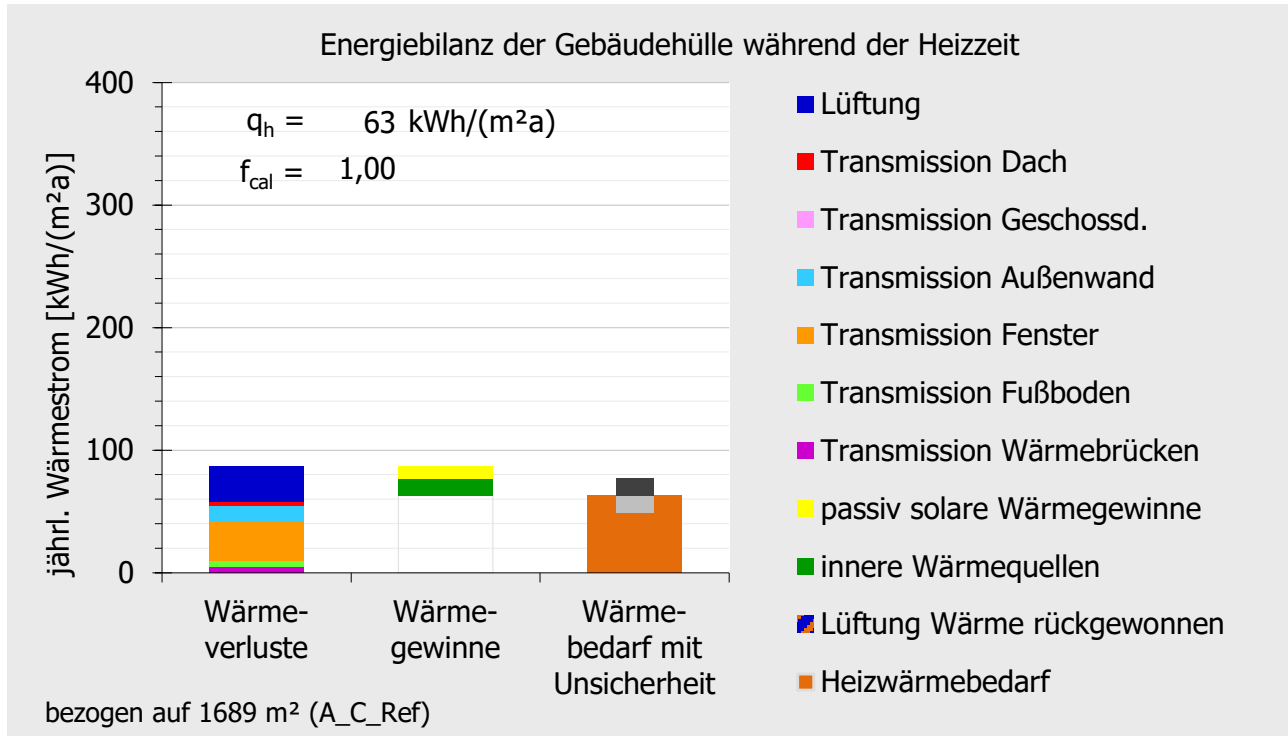
Energy expenditure factors

	EC 1	EC 2	EC 3	Delivered energy	Sum delivered energy	net heat need	Simplified energy expenditure factor (not differentiated by energy carrier)
	Gas	-	-				
Space heating	77,4	0,0	0,0	kWh/(m ²)	77,4	59,9	= 1,29
DHW	Gas	-	-				
	26,9	0,0	0,0	kWh/(m ²)	26,9	15,0	= 1,79

Quantity	Uncertainty of respective quantity	Value	Uncertainty		Reduction factor multi-dwelling	Relevant heat or energy flow*	Sensitivity of heat flow to change of quantity	Energy expenditure factor	Uncertainty of relevant heat or energy flow*	Relevance for total uncertainty						
			Category													
			relative	absolute												
Building heat losses																
Envelope area	$A_{env,calc}$	m ²	B	+/- 10%	+/- 243	1,0	57,6	0,02	1,00	+/- 5,8	16,1%					
Thermal transmittance	$b_{tr,i} \cdot U_{eff,i}$	W/(m ² K)					kWh/(m ² a) by change of 1 W/(m ² K)									
Roof 1	1,00	0,24		+/- 19%	+/- 0,05	1,0	2,8	11,8	1,00	+/- 0,5	0,1%					
Roof 2	0,44					1,0			1,00							
Wall 1	1,00	0,20		+/- 18%	+/- 0,04	1,0	12,3	61,7	1,00	+/- 2,2	2,3%					
Wall 2	0,20					1,0			1,00							
Wall 3	0,20					1,0			1,00							
Floor 1	0,50	0,77		+/- 30%	+/- 0,12	1,0	4,6	11,8	1,00	+/- 1,4	0,9%					
Floor 2	1,00					1,0			1,00							
Window 1	1,00	2,70		+/- 15%	+/- 0,41	1,0	31,0	11,5	1,00	+/- 4,6	10,5%					
Window 2						1,0			1,00							
Door 1	1,00	2,70		+/- 15%	+/- 0,41	1,0	2,0	0,7	1,00	+/- 0,3	0,0%					
Thermal bridging	$\Delta U_{eff,th bridge}$	W/(m ² K)	C	+/- 8%	+/- 0,05	1,0	57,6	97,6	1,00	+/- 4,9	11,6%					
Relative uncertainty related to					0,59 W/(m ² K)											
Air exchange (heat not recovered)	$n_{air, heat loss}$	1/h	D	+/- 63%	+/- 0,25	0,21	28,8	72,1	1,00	+/- 3,8	7,2%					
Relative uncertainty related to					0,40 1/h											
Internal temperature	ϑ_i	°C		+/- 12%	+/- 2,0	0,21	86,4	5,3	1,00	+/- 2,3	2,5%					
Relative uncertainty related to					16,2 K											
External temperatures	F_{HDD}	kkh/a	B	+/- 10%	+/- 7,4	1,0	86,4	1,2	1,00	+/- 8,6	36,4%					
Building heat gains																
Solar heat gains		m ²					kWh/(m ² a)/m ²									
Equivalent South aperture	$A_{eq, south S}$	51	D	+/- 50%	+/- 25	1,0	9,8	0,19	1,00	+/- 4,9	11,8%					
Solar radiation	$I_{sol,ho}$	kWh/(m ² a)	B	+/- 10%	+/- 33	1,0	9,8	0,03	1,00	+/- 1,0	0,5%					
Internal heat load	$\dot{q}_{ei}$	W/m ²	D	+/- 50%	+/- 1,55	0,21	3,1	1,0	1,00	+/- 0,3	0,1%					
Total uncertainty energy need for heating																
	$Q_{h,nd}$						63			+/- 14	(100%)					
Domestic hot water (DHW) - heat need																
DHW heat need	$Q_{w,nd}$	kWh/(m ² a)	D	+/- 50%	+/-											

B.5 Überblick Energiebilanz

Bild 54: Energiebilanz Heizwärme und Endenergie / Beispielgebäude



	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Wärmebedarf	
Heizung	63 ± 14
Rückgew.	
Netto-Wärme	63 ± 14
Warmwasser	15 ± 2
Endenergiebedarf	
Strom	1 ± 0
Gas	104 ± 19
Heizöl	
Kohle	
Biomasse	
Nah-/Fernw.	
andere	
Gesamt	106 ± 19

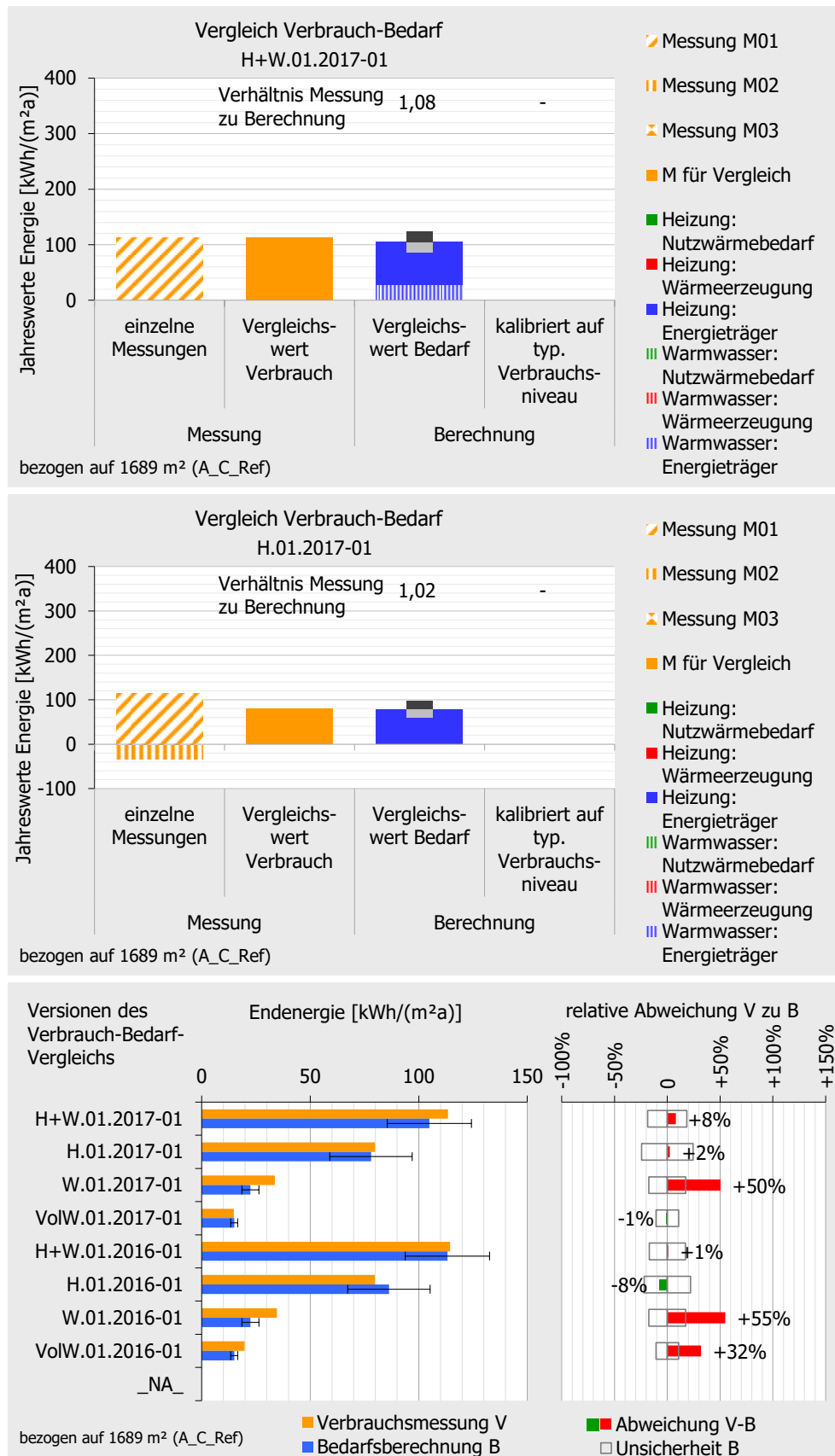
Bild 55: Verbrauchswerte und Vergleichswerte Bedarf / Beispielgebäude

Bild 56: Überblick über die wichtigsten Monitoring-Indikatoren, Modelleingangsvariablen, Bilanzierungsergebnisse und den Verbrauch-Bedarf-Vergleich

Energy Profile Data Overview										Energy Performance Calculation									
ID_Dataset					DE.MOBASY.NH.0015.01					Date_Change					17.11.2020 14:00				
ID_Building					5000.S2292.002					Name_Variant					Ist-Zustand				
Spec_Building_Summary										5000.S2292.002 --- Dreieich --- Gravenbruchstraße 15									
A_C_Ref					1689 m² = Reference area					Code_Type_Procedure					TABULA_Standard				
A_C_Living					1536 m²														
Year_State					2018					Code_AttachedNeighbours					N0				
Year_Building					1976					Sum_DeltaT_for_HeatingDays					3071 Kd/a				
n_Block					1					Code_ComplexFootprint					Complex				
n_House					1					Code_AtticCond					-				
n_Storey					7					Code_ComplexRoof					Simple				
n_Storey					7					Code_CellarCond					N				
n_Dwelling					22					Indicator_Cellar_Insulated					#NV {0,1}				
										h_Ceiling					#NV m				
Code_InsulationType f d Lambda Code_MeasureType																			
Insulation										U A									
cm W/(m·K)										W/(m²K) m² m²/m²									
Roof	Refurbish	100%	10	0,040	Add	Roof_01	0,24	295	0,17										
Ceiling	NA	#NV	#NV	0,040	NA	Roof_02	0,44	0											
Wall	Refurbish	100%	14	0,035	Add	Wall_01	0,20	1535											
Floor	None	0%	0	0,040	NA	Wall_02	0,20	0	0,91										
						Wall_03	0,20	0											
n_air_infiltration	0,10	1/h				Floor_01	0,77	295	0,17										
n_air_mech	0,00	1/h				Floor_02	1,00	0											
n_air_total	0,50	1/h				Window_01	2,70	286											
eta_ve_rec	0,00					Window_02	0,00	0	0,18										
						Door_01	2,70	18											
					delta_U_ThermalBridging					0,05									
SysH										h w h+w									
Code_SysH_G										B_NC_LT - -									
Code_SysH_EC										Gas - -									
q_g_out_h										64,7 0,0 0,0 kWh/(m²a)									
q_del_h										77,6 0,0 0,0 kWh/(m²a)									
q_prod_el_h										0,0 0,0 0,0 kWh/(m²a)									
SysW										1 2 3									
Code_SysW_G										B_NC_LT - -									
Code_SysW_EC										Gas - -									
q_g_out_w										22,4 0,0 0,0 kWh/(m²a)									
q_del_w										26,9 0,0 0,0 kWh/(m²a)									
q_prod_el_w										0,0 0,0 0,0 kWh/(m²a)									
q_del_ve_Aux										0,0 kWh/(m²a)									
q_del_h_Aux										0,5 kWh/(m²a)									
q_del_w_Aux										0,8 kWh/(m²a)									
Code_Type_ConsiderActualClimate										LocalLTA_LocalPeriod									
Code_Type_ClimateCorrection										Correction_Temperature_Solar									
Code_TypePeriod_MeterComparison										01 02 03 04 05 06 07 08 09									
Code_Type_ConsiderActualClimate										H+W. 01.20 2017- 17-01 H.01. 2017- 01 01 W.01. 2017- 01 01 H+W. 01.20 2016- 16-01 H.01. 2016- 01 01 W.01. 2016- 01 01 W.00. 0000- 00 00									
Date_BalanceYears_Start										01.01 .2017 01.01 .2017 01.01 .2017 01.01 .2017 01.01 .2016 01.01 .2016 01.01 .2016 01.01 .2016 -									
Date_BalanceYears_End										31.12 .2017 31.12 .2017 31.12 .2017 31.12 .2017 31.12 .2016 31.12 .2016 31.12 .2016 31.12 .2016 -									
q_compare_w_per_sqm										27 0 22 15 27 0 22 15 0 kWh/(m²a)									
q_compare_h_per_sqm										78 78 0 0 86 86 0 0 0 kWh/(m²a)									
Code_Domain_MeterComparison_SysH										UDS-F UDS-F - - UDS-F UDS-F - - UDS-F									
Code_Domain_MeterComparison_SysW										UDS-F - UDS-H U-V UDS-F - UDS-H U-V -									
F_CalcAdapt_M										0,99 0,99 0,99 0,99 0,99 0,99 0,99 0,99 0,99									
Indicator_CalcAdapt_M										0 0 0 0 0 0 0 0 0 {0,1}									
q_calc_per_sqm										105 78 22 15 113 86 22 15 0 kWh/(m²a)									
q_meter_per_sqm										114 80 34 15 114 80 35 20 - kWh/(m²a)									
ratio_q_meter_q_calc										1,08 1,02 1,50 0,99 1,01 0,92 1,55 1,32 -									

08.02.2021 17:26

08.02.2021 17:26

Anhang C – Eingangsdaten der U-Wert-Schätzung – Herleitung der Pauschalwerte und Unsicherheiten

Im vorliegenden Anhang-Teil wird dokumentiert, wie die Pauschalwerte für die U-Wert-Ermittlung und die zugehörigen Unsicherheiten des im Hauptteil des Berichts dargestellten Verfahrens abgeleitet wurden.

C.1 Bauteile ohne nachträgliche Dämmung

C.1.1 Werte für Bestandsgebäude

Analyse von Gebäude- und Bauteiltypologien [Renhof 2018]

Moritz Renhof hat im Rahmen seiner Masterarbeit in Deutschland vorhandene Gebäude- und Bauteiltypologien ausgewertet [Renhof 2018]. Die Typologien zeigen – meist auf eine Kommune oder Region bezogen – typische Beispiele für Konstruktionen von Wohngebäuden aus dem Bestand. Für diese Konstruktionen sind in den zugehörigen Dokumentationen in der Regel grafische Darstellungen und U-Wert-Berechnungen vorhanden. In der Arbeit wurden unter anderem die verfügbaren Dokumentationen zusammengetragen, nach verschiedenen Kriterien (Baualtersklasse, Gebäudegröße, Art der Konstruktion) systematisiert und zu Diagrammdarstellungen aufbereitet. Weiterhin findet sich darin eine Zuordnung und Diskussion dieser Werte zu den Pauschalwerten, die von der Bundesregierung veröffentlicht werden und die für den EnEV-Nachweis genutzt werden können [EnEV-Bkm Daten WGB 2015].

Diese umfangreiche und systematische Sammlung soll als Grundlage für die Ermittlung von pauschalen U-Werten und zugehörigen Unsicherheiten für nicht modernisierte Bauteile in der MOBASY-Realbilanzierung verwendet werden. Die Gebäude- und Bauteiltypologien wurden in der Regel zur Verbreitung von fachlichen Informationen für Gebäudeeigentümer erstellt. Es ist anzunehmen, dass von den jeweils an der Erstellung der Typologie mitwirkenden Experten übliche und verbreitete Konstruktionen ausgewählt wurden, die einen gewissen Wiedererkennungseffekt bei einem großen Anteil der Beratungsempfänger haben.

Diagramme aus [Renhof 2018] und quantitative Analysen

Die folgenden vier Abschnitte zeigen Diagramme aus [Renhof 2018] mit den dort durchgeführten Auswertungen. Je nach Art des Bauteils und der Baualtersklasse war die Anzahl der vorhandenen Fälle sehr unterschiedlich. Insgesamt wurden U-Werte von mehr als 4000 Konstruktionen zusammengetragen – die Quellen waren 10 kommunale, 3 bundeslandbezogene und 2 überregional erstellte Typologien. Zum Vergleich wurden vom Autor auch die pauschalen U-Werte aus den Bekanntmachungen des Bundes [EnEV-Bkm Daten WGB 2015] für die jeweilige Bauteilkategorien dargestellt.

Aufbauend auf diesen Daten wurden vom IWU zusätzliche, auf die MOBASY-Fragestellung zugeschnittene Auswertungen durchgeführt.²⁴ Ziel war die Ermittlung von Mittelwerten und Streuungen je Bauteilart und Baualtersklasse. Da im Energieprofil-Fragebogen bei den jeweiligen Konstruktionen nur zwischen "massiv" und "Holz" unterschieden wird, wurden einige Bauteilkategorien zusammengeführt. Die Resultate sind im Folgenden für jede Bauteilart jeweils in einer Tabelle dargestellt, im letzten Abschnitt noch einmal vergleichend in Diagrammform. Bei der Ableitung der jeweils im unteren, farbig hinterlegten Bereich der bauteilbezogenen Tabellen dargestellten "MOBASY-Pauschalwerte" wurden (im Rahmen der gegebenen Unsicherheit) noch einmal durch Rundung und Zusammenführung ähnlicher Baualtersklassen grobe Anhaltswerte für die Realbilanzierung abgeleitet.

²⁴ Die Datentabellen wurden dem IWU von Herrn Renhof freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Dach

Die folgenden zwei Diagramme aus [Renhof 2018] zeigen die U-Werte für Dachkonstruktionen differenziert nach Baualtersklasse jeweils für Bauteile aus Holz und für massive Bauteile.

Bild 57: U-Werte für Dachkonstruktionen aus Holz differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

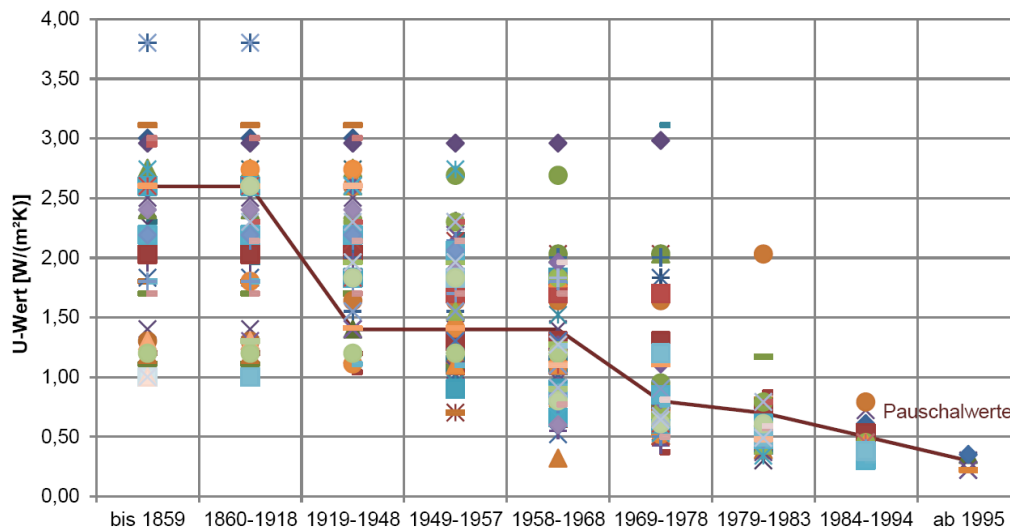


Bild aus: [Renhof 2018]

Bild 58: U-Werte für massive Dachkonstruktionen differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

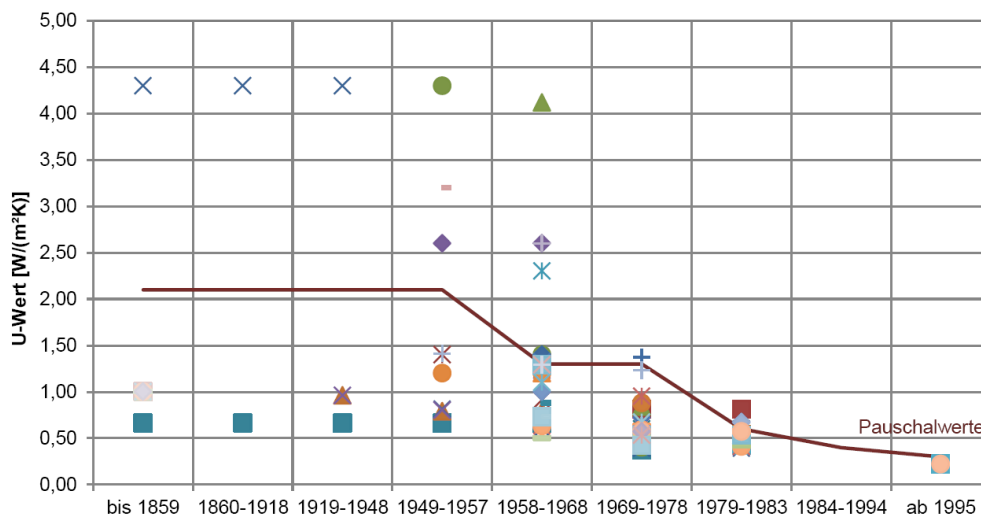


Bild aus: [Renhof 2018]

Bei den im Rahmen der vorliegenden MOBASY-Studie durchgeführten Analysen wurden aus diesen Daten die in der folgenden Tabelle dargestellten Mittelwerte und Streuungen ermittelt. Der graue Bereich der Tabelle zeigt die Pauschalwerte aus den EnEV-Bekanntmachungen. Im farbig hinterlegten Block finden sich die daraus grob abgeleiteten "MOBASY-Pauschalwerte", die Anhaltswerte für die Realbilanzierung.

Tab. 13: Analyse der U-Werte für Dach-Konstruktionen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analysen und Darstellung

Baualtersklasse Gebäude				A	B	C	D	E	F	G	H	I	(Gesamtgewichtet)	
				... 1859	1860 ... 1918	1919 ... 1948	1949 ... 1957	1958 ... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001		
Dach	Analyse Gebäude- und Bauteiltypologien	Alle	Anzahl	n=45	n=63	n=80	n=94	n=148	n=149	n=112	n=40	n=10	n=741	
			Mittelwert	2,08	2,09	2,03	1,64	1,17	0,76	0,55	0,42	0,25		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,62 30%	0,59 28%	0,55 27%	0,51 31%	0,50 43%	0,40 52%	0,19 34%	0,12 29%	0,05 21%	37%	W/(m²K)
		Holz	Anzahl	n=44	n=62	n=77	n=86	n=116	n=91	n=66	n=40	n=7	n=589	
			Mittelwert	2,11	2,12	2,08	1,68	1,18	0,87	0,57	0,42	0,27		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,58 28%	0,56 27%	0,51 25%	0,48 28%	0,49 42%	0,45 52%	0,23 39%	0,12 29%	0,06 22%	35%	W/(m²K)
		Massiv	Anzahl	n=1	n=1	n=3	n=8	n=32	n=58	n=46	n=0	n=3	n=152	
			Mittelwert	-	-	-	1,21	1,13	0,59	0,52	-	-		W/(m²K)
			StdAbw relativ	-	-	-	0,59 49%	0,52 46%	0,18 31%	0,11 21%	-	-	30%	W/(m²K)
	EnEV	Holz	Pauschalwerte EnEV	2,60	2,60	1,40	1,40	1,40	0,80	0,70	0,50	0,30		W/(m²K)
		massiv	Pauschalwerte EnEV	2,10	2,10	2,10	2,10	1,30	1,30	0,60	0,40	0,30		W/(m²K)
	MOBASY	Default	abgeleitete	2,00	2,00	2,00	1,60	1,20	0,80	0,60	0,40	0,25		W/(m²K)
		Holz	Pauschalwerte MOBASY	2,00	2,00	2,00	1,60	1,20	0,80	0,60	0,40	0,25		W/(m²K)
		Massiv	Pauschalwerte MOBASY	2,00	2,00	2,00	1,20	1,00	0,60	0,50	0,40	0,25		W/(m²K)
		alle	StdAbw relativ	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	25%	20%		

Mittelwerte und Streuungen nur gebildet, wenn mehr als 3 Fälle vorliegen.

Oberste Geschossdecke

Die folgenden zwei Diagramme aus [Renhof 2018] zeigen die U-Werte für oberste Geschossdecken differenziert nach Baualtersklasse jeweils für Konstruktionen aus Holz und für massive Bauteile.

Bild 59: U-Werte für hölzerne oberste Geschossdecken differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

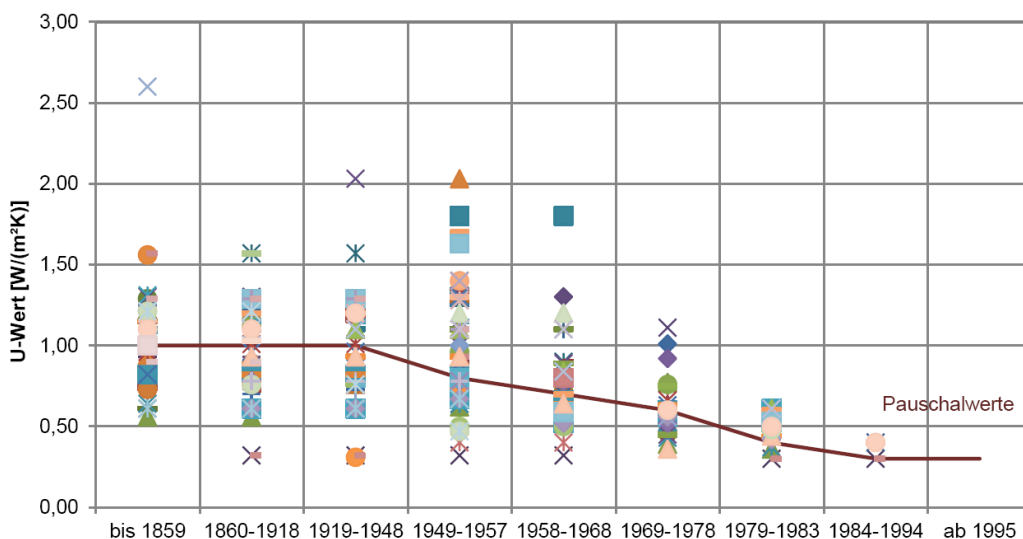


Bild aus: [Renhof 2018]

Bild 60: U-Werte für massive oberste Geschossdecken differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

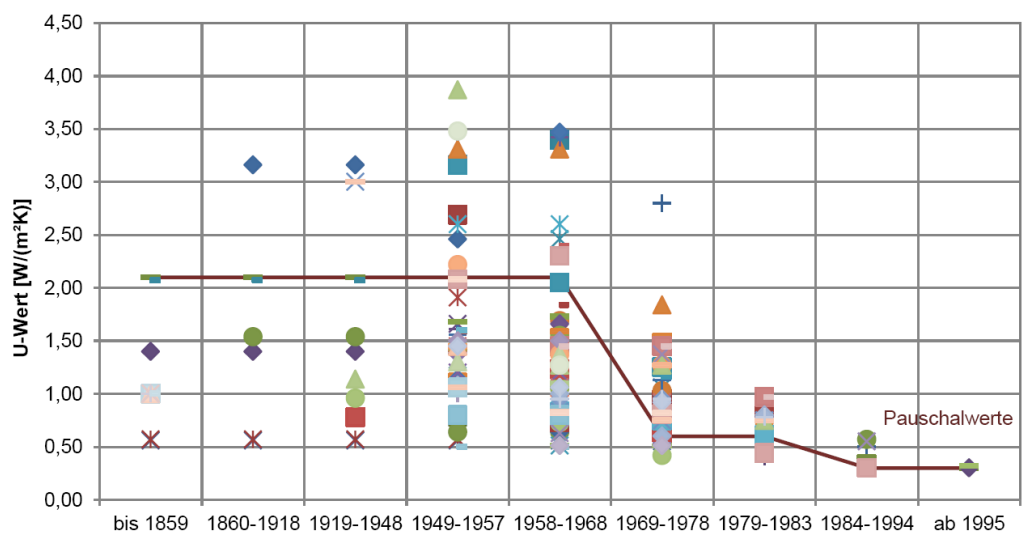


Bild aus: [Renhof 2018]

Bei den im Rahmen der vorliegenden MOBASY-Studie durchgeführten Analysen wurden aus diesen Daten die in der folgenden Tabelle dargestellten Mittelwerte und Streuungen ermittelt. Der graue Bereich der Tabelle zeigt die Pauschalwerte aus den EnEV-Bekanntmachungen. Im farbig hinterlegten Block finden sich die daraus grob abgeleiteten "MOBASY-Pauschalwerte", die Anhaltswerte für die Realbilanzierung.

Tab. 14: Analyse der U-Werte für Geschossdecken-Konstruktionen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analysen und Darstellung

Baualtersklasse Gebäude				A	B	C	D	E	F	G	H	I	(Gesamtgewichtet)	
				... 1859	1860 ... 1918	1919 ... 1948	1949 ... 1957	1958 ... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001		
oberste Geschossdecke	Analyse Gebäude- und Bauteiltypologien	Alle	Anzahl	n=52	n=72	n=75	n=153	n=139	n=109	n=69	n=18	n=3	n=690	
			Mittelwert	1,09	0,99	1,06	1,18	1,04	0,87	0,58	0,37	-		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,39 36%	0,34 35%	0,53 50%	0,47 40%	0,48 46%	0,46 53%	0,17 29%	0,09 24%	-	-	42%
		Holz	Anzahl	n=47	n=66	n=63	n=87	n=52	n=34	n=28	n=5	n=0	n=382	
			Mittelwert	1,06	0,95	0,95	1,00	0,75	0,61	0,48	0,36	-		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,34 32%	0,28 29%	0,32 33%	0,36 36%	0,26 35%	0,16 26%	0,09 18%	0,05 14%	-	-	31%
	EnEV	Massiv	Anzahl	n=5	n=6	n=12	n=66	n=87	n=75	n=41	n=13	n=3	n=308	
			Mittelwert	1,34	1,37	1,68	1,41	1,21	0,99	0,65	0,37	-		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,68 51%	0,63 46%	0,90 54%	0,51 36%	0,50 41%	0,50 50%	0,18 27%	0,10 26%	-	-	40%
		Holz	Pauschalwerte EnEV	1,00	1,00	1,00	0,80	0,70	0,60	0,40	0,30	0,30		W/(m²K)
			massiv	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	0,60	0,60	0,30	0,30		W/(m²K)
	MOBASY	Default	abgeleitete	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,90	0,60	0,40	0,25		W/(m²K)
		Holz	Pauschalwerte MOBASY	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,25		W/(m²K)
		Massiv		1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,00	0,70	0,40	0,25		W/(m²K)
		alle	StdAbw relativ	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	25%	20%		

Mittelwerte und Streuungen nur gebildet, wenn mehr als 3 Fälle vorliegen.

Außenwand

Die folgenden Diagramme aus [Renhof 2018] zeigen die U-Werte für Außenwände differenziert nach Baualtersklasse jeweils für unterschiedliche Konstruktionsarten (Auswertekategorien in Anlehnung an die EnEV-Bekanntmachungen des Bundes [EnEV-Bkm Daten WGB 2015]).

Bild 61: U-Werte für massive, einschalige Wandkonstruktionen mit 20 bis 30 cm Stärke differenziert nach Baualtersklasse
zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

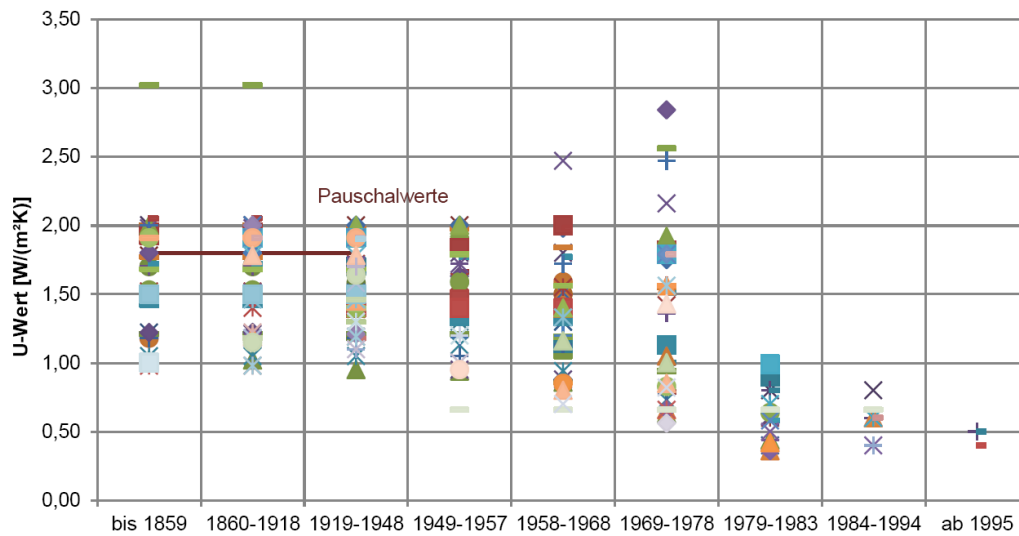


Bild aus: [Renhof 2018]

Bild 62: U-Werte für zweischalige Wandkonstruktionen differenziert nach Baualtersklasse
zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

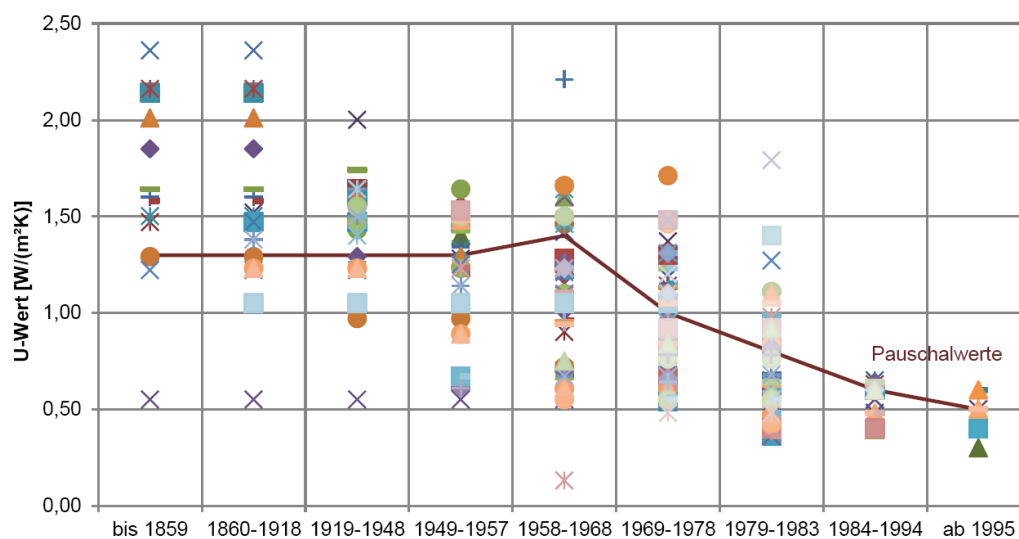


Bild aus: [Renhof 2018]

Bild 63: U-Werte für Wandkonstruktionen aus gelochten / porösen Steinen differenziert nach Baualtersklasse
zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

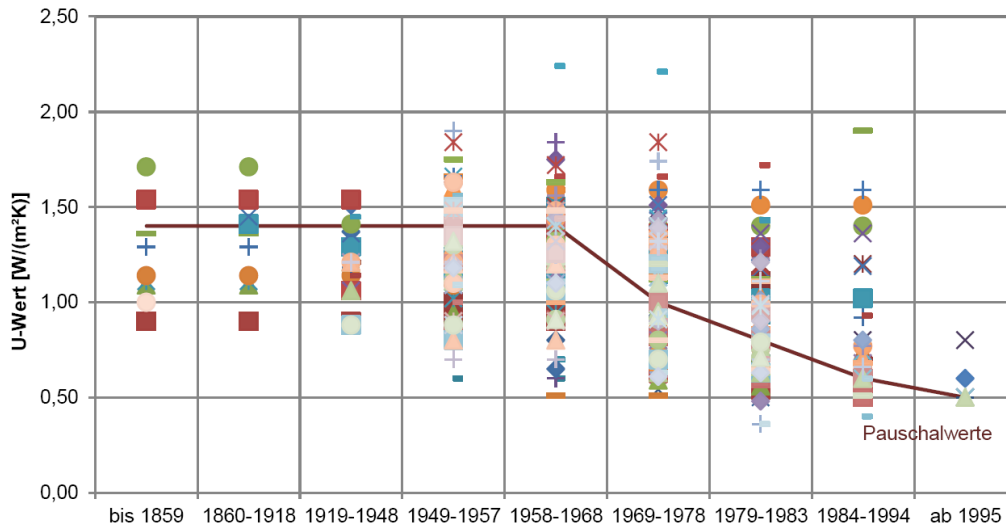


Bild aus: [Renhof 2018]

Bild 64: U-Werte für Fachwerkwände mit Lehmausfachungen differenziert nach Baualtersklasse
zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

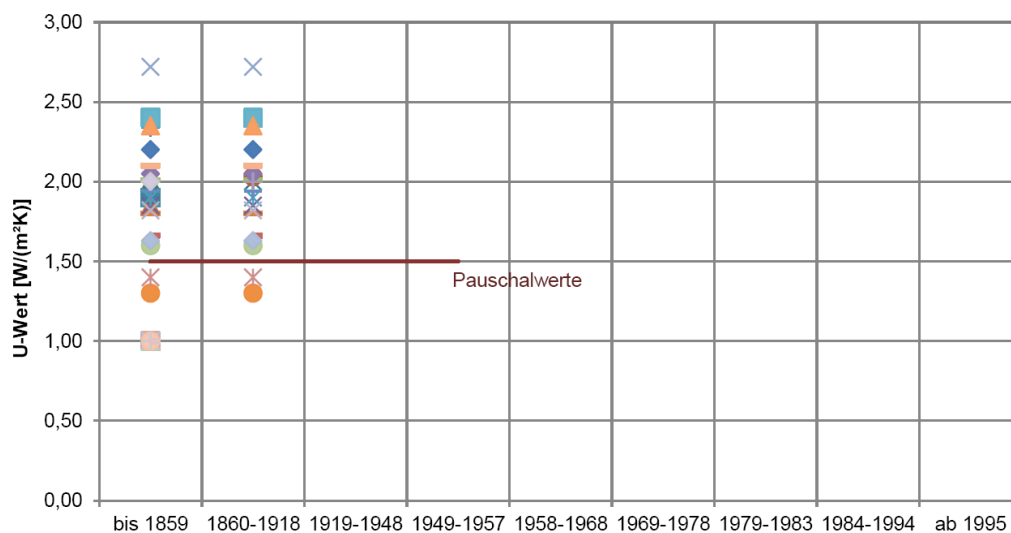


Bild aus: [Renhof 2018]

Bei den im Rahmen der vorliegenden MOBASY-Studie durchgeführten Analysen wurden aus diesen Daten die in der folgenden Tabelle dargestellten Mittelwerte und Streuungen ermittelt. Der graue Bereich der Tabelle zeigt die Pauschalwerte aus den EnEV-Bekanntmachungen (für die wichtigsten Konstruktionsarten). Im farbig hinterlegten Block finden sich die daraus grob abgeleiteten "MOBASY-Pauschalwerte" als Anhaltswerte für die Realbilanzierung. Im Energieprofil-Fragebogen wird nicht zwischen den verschiedenen Wandstärken und der ein- und zweischaligen Konstruktionsweise unterschieden, da diese Informationen bei der energetischen Portfolioanalyse nur schwer zuverlässig zu ermitteln sind. Entsprechend größer ist die anzusetzende Unsicherheit (solange keine Wärmeschutz-Modernisierung vorliegt).

Tab. 15: Analyse der U-Werte für Außenwand-Konstruktionen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analysen und Darstellung

Baualtersklasse Gebäude				A	B	C	D	E	F	G	H	I	(Gesamt gewichtet)	
				... 1859	1860 ... 1918	1919 ... 1948	1949 ... 1957	1958 ... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001		
Außenwand	Analyse Gebäude- und Bauteiltypologien	Alle	Anzahl	n=165	n=244	n=219	n=236	n=306	n=347	n=215	n=104	n=24	n=1860	
			Mittelwert	1,77	1,69	1,49	1,31	1,20	1,01	0,77	0,66	0,50		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,44 25%	0,44 26%	0,33 22%	0,32 24%	0,35 29%	0,40 39%	0,26 33%	0,25 38%	0,09 18%	30%	W/(m²K)
		Holz	Anzahl	n=28	n=22	n=0	n=0	n=0	n=16	n=2	n=0	n=0	n=68	
			Mittelwert	1,92	1,90	-	-	-	0,65	-	-	-		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,32 17%	0,35 18%	-	-	-	0,15 23%	-	-	-	18%	W/(m²K)
		Massiv	Anzahl	n=137	n=222	n=217	n=236	n=306	n=331	n=209	n=104	n=24	n=1786	
			Mittelwert	1,74	1,67	1,50	1,31	1,20	1,03	0,77	0,66	0,50		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,46 26%	0,44 26%	0,32 21%	0,32 24%	0,35 29%	0,40 39%	0,26 34%	0,25 38%	0,09 18%	30%	W/(m²K)
	EnEV	Holz		2,00	2,00	2,00	1,50	1,40	0,60	0,50	0,40	0,40		W/(m²K)
		m. einschalig*	Pauschalwerte EnEV	2,20	2,20	2,20	2,20	1,40	1,00	0,80	0,60	0,50		
		m. zweischalig*		1,30	1,30	1,30	1,30	1,40	1,00	0,80	0,60	0,50		W/(m²K)
	MOBASY	Default	abgeleitete	1,70	1,70	1,50	1,30	1,20	1,00	0,80	0,70	0,50		W/(m²K)
		Holz	Pauschalwerte	1,90	1,90	1,50	1,30	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30		W/(m²K)
		Massiv	MOBASY	1,70	1,70	1,50	1,30	1,20	1,00	0,80	0,70	0,50		W/(m²K)
		alle	StdAbw relativ	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	25%	20%		

Mittelwerte und Streuungen nur gebildet, wenn mehr als 3 Fälle vorliegen.

Kellerdecke / Boden gegen Erdreich

Die folgenden Diagramme aus [Renhof 2018] zeigen die U-Werte für Kellerdecken differenziert nach Baualterklasse jeweils für unterschiedliche Konstruktionsarten (Auswertekategorien in Anlehnung an die EnEV-Bekanntmachungen des Bundes [EnEV-Bkm Daten WGB 2015]).

Bild 65: U-Werte für Kellerdecken aus Stahlbeton differenziert nach Baualterklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

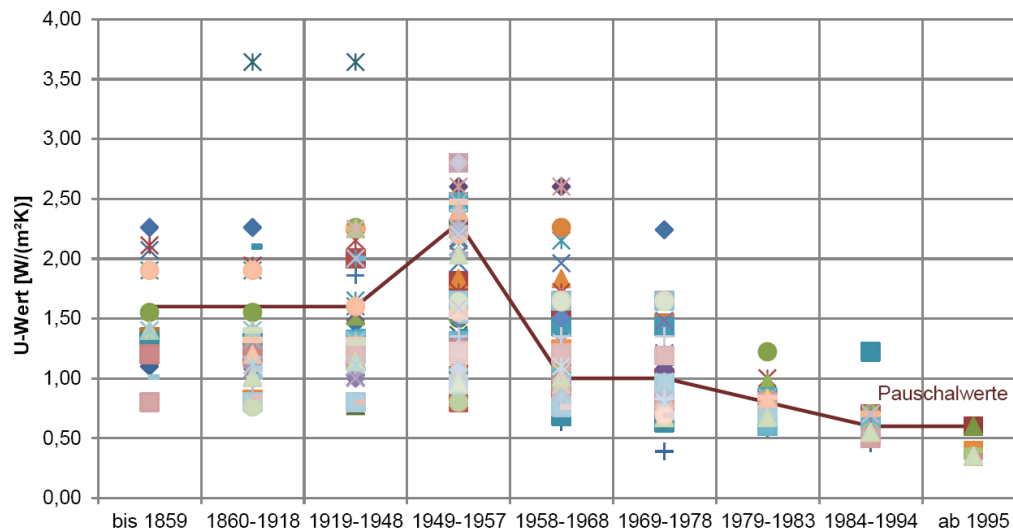


Bild aus: [Renhof 2018]

Bild 66: U-Werte für Kellerdecken mit Ziegel-/Hohlsteinen differenziert nach Baualterklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

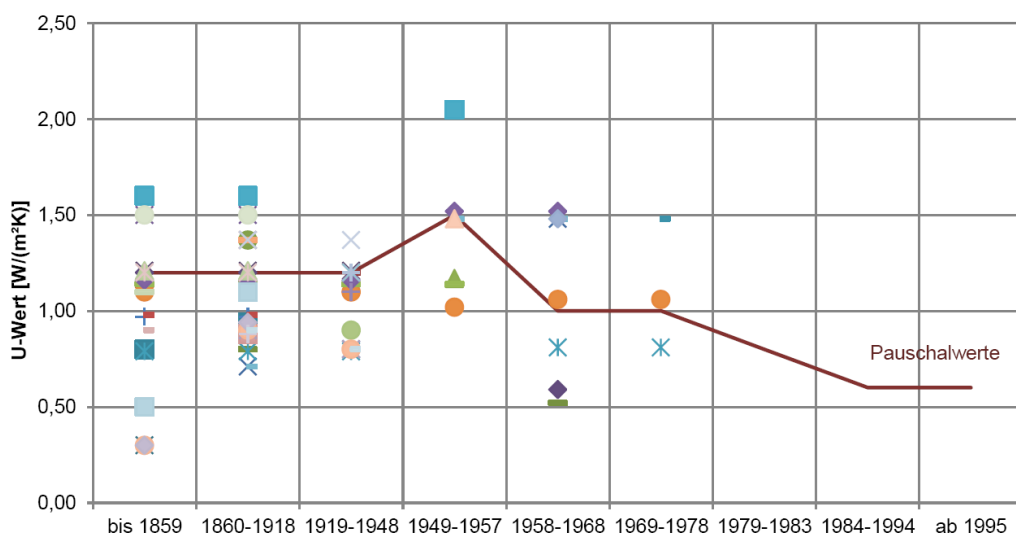


Bild aus: [Renhof 2018]

Bild 67: U-Werte für Kellerdecken in Holzbauweise differenziert nach Baualtersklasse zusammengetragen aus Gebäude- und Bauteiltypologien
durchgezogene Linie: Bekanntmachungen des Bundes / aus: [Renhof 2018]

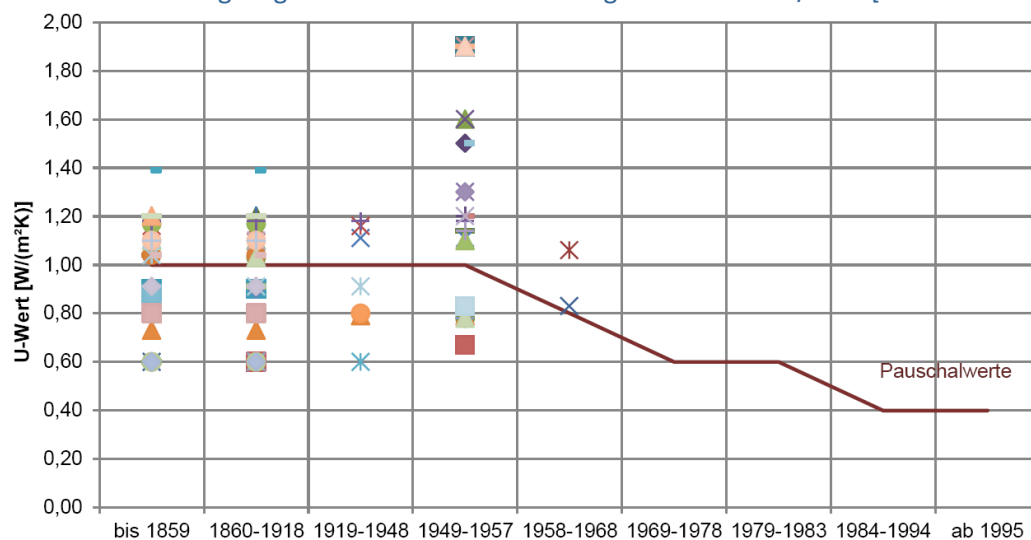


Bild aus: [Renhof 2018]

Bei den im Rahmen der vorliegenden MOBASY-Studie durchgeführten Analysen wurden aus diesen Daten die in der folgenden Tabelle dargestellten Mittelwerte und Streuungen ermittelt. Der graue Bereich der Tabelle zeigt die Pauschalwerte aus den EnEV-Bekanntmachungen. Im farbig hinterlegten Block finden sich die daraus grob abgeleiteten "MOBASY-Pauschalwerte" als Anhaltswerte für die Realbilanzierung.

Für Fußbodenflächen beheizter Geschosse gegen Erdreich werden bei der MOBASY-Realbilanzierung vereinfacht die gleichen U-Werte wie Kellerdecken verwendet (ohne Ansatz eines zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand des Luftraums).

Tab. 16: Analyse der pauschalen U-Werte für Kellerdecken aus Gebäude- und Bauteiltypologien
Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analyse und Darstellung

Baualtersklasse Gebäude				A	B	C	D	E	F	G	H	I	(Gesamt gewichtet)	
				... 1859	1860 ... 1918	1919 ... 1948	1949 ... 1957	1958 ... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001		
Kellerdecke	Analyse Gebäude- und Bauteiltypologien	Alle	Anzahl	n=82	n=160	n=122	n=166	n=135	n=108	n=60	n=44	n=12	n=889	
			Mittelwert	1,07	1,06	1,21	1,46	1,10	0,94	0,75	0,60	0,41		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,38 36%	0,28 27%	0,37 30%	0,51 35%	0,36 33%	0,29 30%	0,11 15%	0,12 20%	0,09 22%	30%	W/(m²K)
		Holz	Anzahl	n=32	n=49	n=8	n=35	n=2	n=1	n=0	n=0	n=0	n=127	
			Mittelwert	0,94	0,90	0,93	1,22	-	-	-	-	-		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,22 24%	0,21 23%	0,19 21%	0,40 32%	-	-	-	-	-	25%	W/(m²K)
		Massiv	Anzahl	n=24	n=63	n=94	n=121	n=124	n=104	n=60	n=44	n=12	n=646	
			Mittelwert	1,35	1,17	1,27	1,54	1,10	0,94	0,75	0,60	0,41		W/(m²K)
			StdAbw relativ	0,41 31%	0,32 28%	0,39 30%	0,53 35%	0,36 33%	0,29 31%	0,11 15%	0,12 20%	0,09 22%	29%	W/(m²K)
	EnEV	Holz		1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,60	0,40	0,40		W/(m²K)
		Stahlbeton	Pauschalwerte EnEV	1,60	1,60	1,60	2,30	1,00	1,00	0,80	0,60	0,60		
		Ziegeldecke		1,20	1,20	1,20	1,50	1,00	1,00	0,80	0,60	0,60		W/(m²K)
	MOBASY	Default	abgeleitete Pauschalwerte MOBASY	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40		W/(m²K)
		Holz		1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,60	0,40	0,40		W/(m²K)
		Massiv		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40		W/(m²K)
		alle	StdAbw relativ	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	25%	20%		

Mittelwerte und Streuungen nur gebildet, wenn mehr als 3 Fälle vorliegen.

Zusammenfassung der Analyse von Gebäude- und Bauteiltypologien

Die folgenden Diagramme geben noch einmal einen Überblick über die MOBASY-Analysen. Je Baualtersklasse sind der Mittelwert und die Standardabweichung dargestellt. Ebenfalls eingetragen sind die die nach EnEV-Bekanntmachungen [EnEV-Bkm Daten WGB 2015] vereinfacht zu verwendenden U-Werte. Bei älteren Baualtersklassen finden sich die EnEV-Pauschalwerte tendenziell im oberen Bereich des Streufeldes. Eine Ausnahme stellen die Geschossdecken aus Holz dar, wo die EnEV-Pauschalwerte ganz gut den Mittelwert aus den Typologien treffen. Bei neueren Baualtersklassen ab ca. 1969 stimmen die EnEV-Werte recht gut mit den Mittelwerten der Analyse überein.

Im Kontext der Erstellung der ausgewerteten Typologien wurden U-Werte sicherlich normkonform berechnet. Ob die Normrandbedigungen im Mittel die realen Situationen im Gebäudebestand gut abbilden, kann derzeit nicht geklärt werden. Allerdings ist zu beachten, dass es in der Praxis häufig Situationen gibt, bei denen der innere oder äußere Wärmeübergang gegenüber der Normberechnung reduziert wird (außen: nahe stehende Gebäude, Vordächer, Schuppen, Fassadenbegrünung, ... / innen: Möbel, Regale, Vorhänge, ...). Auch können durch nachträgliche Anbringung von Bauplatten oder Verkleidungen Luftschichten oder Hohlkammern entstanden sein oder viellagige Tapetenschichten oder Dämmtapeten eine zusätzliche Dämmwirkung haben. Allen diesen Effekten gemein ist, dass sie eine Minderung der Transmissionswärmeverluste gegenüber der Normberechnung am Regelbauteil bewirken. Leider gibt es aber keine empirische Grundlage, die eine quantitative Berücksichtigung dieser Effekte in der Realbilanzierung erlauben würde. Die Frage bleibt daher derzeit noch offen, ob die aus den Gebäude- und Bauteiltypologien abgeleiteten pauschalen U-Werte gegenüber der Realität eventuell systematisch etwas zu hoch eingeschätzt werden.

Bild 68: Übersicht über die U-Werte aus Gebäude- und Bauteiltypologien / Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen je Baualtersklasse / Vergleich mit den Pauschalwerten nach EnEV-Bekanntmachungen
Daten aus: [Renhof 2018] / eigene Analyse und Darstellung

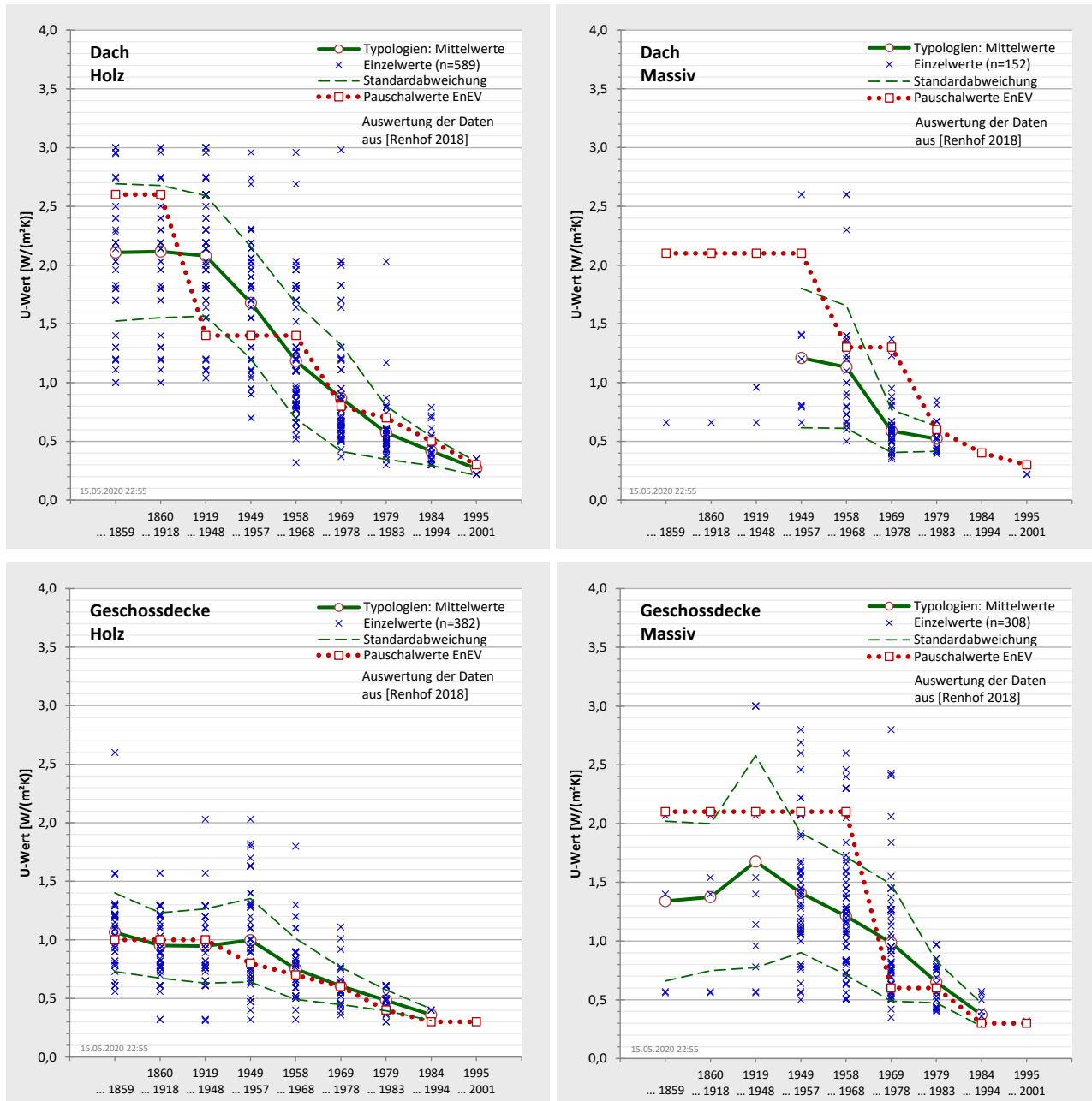
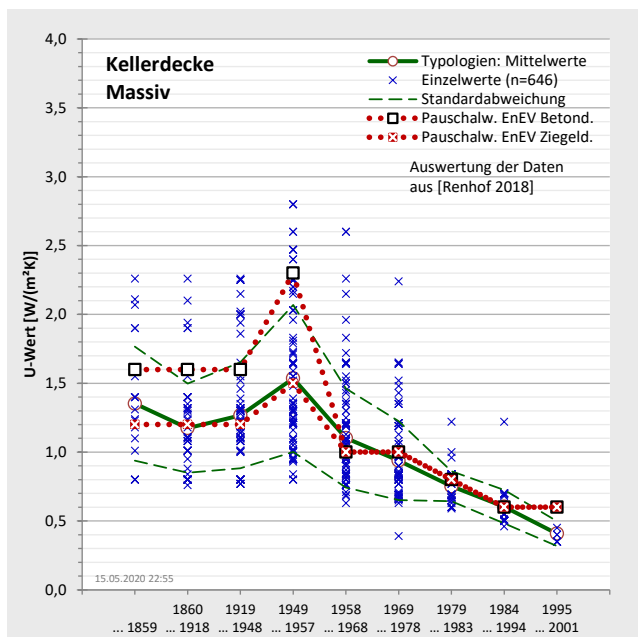
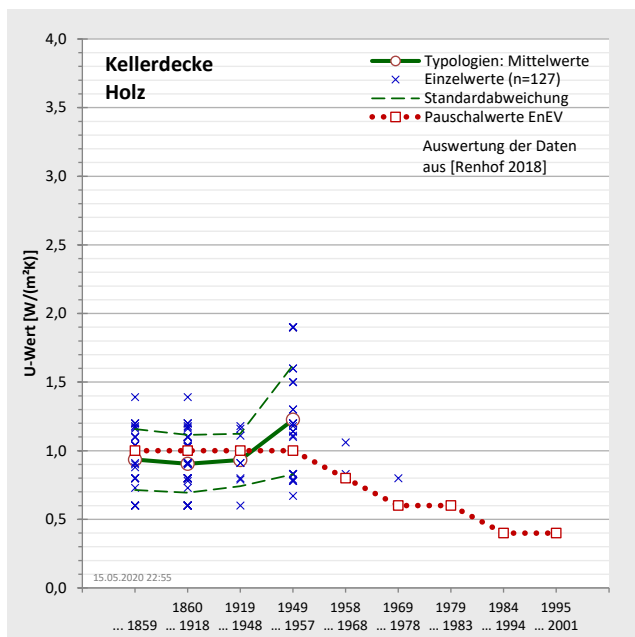
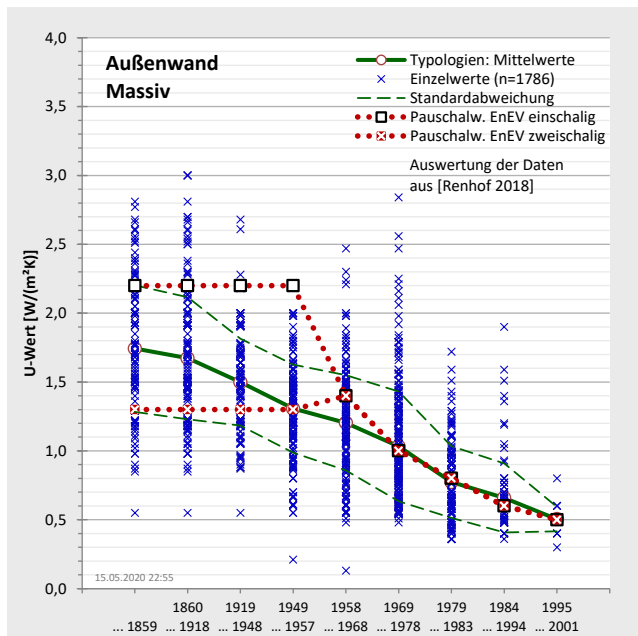
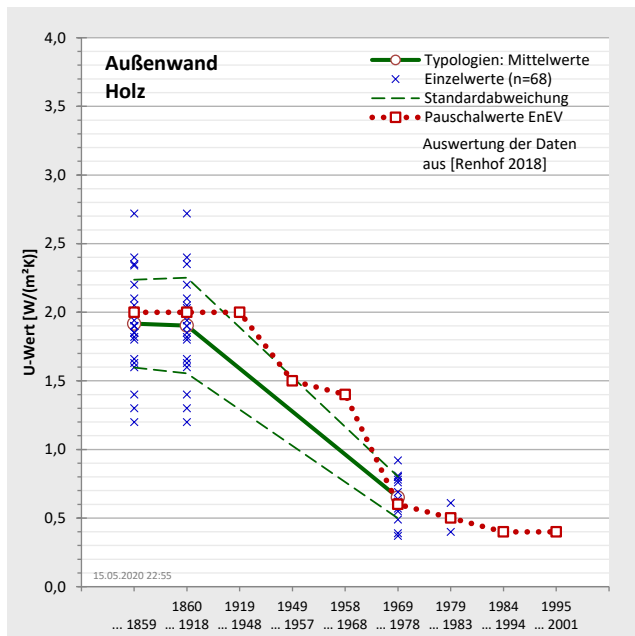


Bild 68 (Fortsetzung)



C.1.2 Werte für ab 2002 errichtete Wohngebäude

Bei den neueren Baualtersklassen ("2002 ... 2009", "2010 ... 2015" und "2016 ...") sollten zwar theoretisch für alle Gebäude U-Wert-Berechnungen für den Nachweis nach EnEV zu einem Planungszeitpunkt durchgeführt worden sein. Doch leider gibt es in Deutschland keine Datenbank, die für eine solche Auswertung herangezogen werden könnte. Datenbanken und Auswertungen finden sich allein im Kontext von Förderprogrammen oder Instrumenten der Qualitätssicherung – dabei handelt es sich jedoch immer um Teilmengen, deren Standards sicherlich nicht repräsentativ für das Neubaugeschehen sind.

Um dennoch für diese Baualtersklassen typische Werte und Spannen von U-Werten bereitzustellen, sollen Beispielberechnungen aus der deutschen Wohngebäudetypologie herangezogen werden [WG-Typologie-DE 2015]. Hier wurden für drei Gebäude (Einfamilienhaus, Reihenhaushaus, Mehrfamilienhaus) jeweils drei U-Wert-Kombinationen ermittelt: Die erste hält die gesetzlichen Grenzwerte gerade ein, die zweite hält den am leichtesten zu erreichenden KfW-Förderstandard ein, die dritte orientiert sich am Passivhaus-Niveau und hält damit auch den besten KfW-Förderstandard ein (Tab. 17). Für Gebäude ab 2010 kommen darüber hinaus noch drei unterschiedliche Heizsysteme ins Spiel, für die sich jeweils unterschiedliche U-Werte bei Einhaltung der EnEV-Anforderungen ergeben.

Tab. 17: Definition der drei Effizienzlevels für die Festlegung der U-Werte der Beispielgebäude

Baualtersklasse	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
Var. 1	Mindestanforderung EnEV 2002	Mindestanforderung EnEV 2009	Mindestanforderung EnEV 2016
Var. 2	NEH / KfW-60-Haus	EH 70	EH 55
Var. 3	KfW-40-Haus	EH 40 / Passivhaus	EH 40 / Passivhaus

"NEH / KfW-60-Haus" und "KfW-40-Haus": Niedrigenergiehaus-Standard / Förderstandard "KfW-60" und Förderstandard "KfW-40" (Förderstandards der KfW bis ca. 2006)

"EH 70" "EH 55" / "EH 40": Effizienzhaus 70, 55 und 40 (Förderstandards der KfW ab ca. 2007 bzw. 2010)

Es ist bekannt, dass ein Großteil der deutschen Neubauten ein gegenüber den EnEV-Mindestanforderungen deutlich besseres Effizienzniveau aufweist. Gemäß der 2016 durchgeführten Datenerhebung Wohngebäudebestand haben 79% der ab 2010 errichteten Gebäude einen Effizienzhausstandard (zur Hälfte mit, zur Hälfte ohne Förderung) [Cischinsky / Diefenbach 2018]. Da die genaue Verteilung auf die Förderstandards nicht erhoben wurde, sollen bei der Bestimmung des Mittelwerts die drei Niveaus für jedes Gebäude vereinfacht gleichgewichtet werden.

Tab. 18: Analyse der U-Werte der Beispielgebäude der deutschen Wohngebäudetypologie
eigene Auswertungen der Daten aus [WG-Typologie-DE 2015]

		Analyse Beispielgebäude				MOBASY			
Baualtersklasse Gebäude		J	K	L	(Gesamt gewichtet)	J	K	L	
		2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...		2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...	
Dach	Anzahl	n=9	n=27	n=27					
	Mittelwert	0,17	0,15	0,15		0,18	0,15	0,15	W/(m²K)
	StdAbw abs	0,04	0,05	0,07					W/(m²K)
	StdAbw rel	21%	35%	42%	33%	40%			-
Außenwand	Anzahl	n=9	n=27	n=27		n=9	n=27	n=27	
	Mittelwert	0,22	0,20	0,18		0,22	0,20	0,18	W/(m²K)
	StdAbw abs	0,06	0,07	0,07					W/(m²K)
	StdAbw rel	28%	38%	39%	35%	40%			
Fenster	Anzahl	n=9	n=27	n=27					
	Mittelwert	1,17	1,10	0,98		1,20	1,10	1,00	W/(m²K)
	StdAbw abs	0,26	0,30	0,23					W/(m²K)
	StdAbw rel	23%	27%	23%	24%	30%			
Fußboden	Anzahl	n=9	n=27	n=27					
	Mittelwert	0,24	0,25	0,18		0,26	0,24	0,18	W/(m²K)
	StdAbw abs	0,05	0,12	0,07					W/(m²K)
	StdAbw rel	23%	47%	39%	36%	40%			

Bei den Wohngebäudeerhebungen 2009 und 2016 wurde die Dämmstoffdicke auch für den Neubau abgefragt (vgl. auch folgender Anhang C.3). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der Ergebnisse differenziert nach Bauteil. Diese Werte können noch einmal zur Plausibilisierung der aus den Beispielgebäuden abgeleiteten U-Werte herangezogen werden. Da die genauen Konstruktionsarten und Wärmeleitfähigkeiten nicht bekannt sind, werden jeweils ein unterer Wert von 0,030 W/(m²K) und ein oberer Wert von 0,045 W/(m²K) angesetzt. Die mit diesen Annahmen vereinfacht abgeschätzten U-Wert-Bereiche passen ganz gut mit den Mittelwerten der Beispielgebäude zusammen.

Tab. 19: Abschätzung der U-Werte aus den für den Neubau erhobenen Dämmstärken und Vergleich mit den mittleren U-Werten der Beispielgebäude der Wohngebäudetypologie
Daten aus [Diefenbach et al. 2010], [Cischinsky / Diefenbach 2018] und [WG-Typologie-DE 2015] / eigene Auswertungen

	Baujahr Gebäude	Dach		OG-Decke		Außenwand		Kellerdecke / Fußboden gegen Erdreich	
mittlere Dämmstoffstärken Neubau aus den Erhebungen									
		mittlere Dämmstoffdicken und Unsicherheit des Mittelwerts [cm]							
Datenerhebung 2009									
	2005 ... 2009	18,7 +/- 0,4				14,1 +/- 0,6		11,9 +/- 0,5	
Datenerhebung 2016									
	2010 ... 2016	20,2 +/- 0,6		19,1 +/- 0,8		16,2 +/- 0,6		13,3 +/- 0,3	
Abschätzung der U-Werte aus den Dämmstärken *									
	<i>Ansätze für die effektive Wär- meleitfähigkeit des Dämm- stoffs **</i>	0,030	0,045	0,030	0,045	0,030	0,045	0,030	0,045
		U-Wert* [W/m²K]							
	2005 ... 2009	0,14	0,19	0,14	0,19	0,18	0,24	0,20	0,27
	2010 ... 2016	0,13	0,18	0,14	0,19	0,16	0,22	0,18	0,25
zum Vergleich: mittlere U- Werte der Beispielgebäude der Typologie									
		U-Wert [W/m²K]							
	2002 ... 2009	0,18				0,22		0,26	
	2010 ... 2015	0,15				0,20		0,24	
	2016 ...	0,15				0,18		0,18	

*) bei Ansatz eines Ausgangswertes für den Wärmedurchlasswiderstand von 1 m²K/W

**) effektive Wärmeleitfähigkeit 0,045 W/(m·K) wird z.B. bei mit Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) gefüllten Holzkonstruktionen erreicht

C.1.3 Gesamtergebnisse für die pauschalen U-Werte

Aus den oben beschriebenen Analysen kann nun die folgende Tabelle mit pauschalen U-Werten differenziert nach Baualtersklasse und Bauteilart und der jeweiligen Bandbreite zusammengestellt werden. Diese Tabelle wird in der Beschreibung des Verfahrens in Anhang D.3.1 noch einmal aufgegriffen.

Ist das Baujahr nicht bekannt wird die Baualtersklasse "1958 ... 1968" verwendet (bzw. 1963 als Rechenwert für das Baujahr). Diese Baualtersklasse repräsentiert gemäß den in [Cischinsky / Diefenbach 2018] Abb.4 dargestellten Häufigkeiten etwa das Mittelfeld des Altbaubestands der Wohngebäude bis 1994.²⁵ Der Pauschalwert der Unsicherheit wird in diesem Fall dann auf +/- 50% erhöht.

²⁵ Für neuere Baualtersklassen ist es deutlich weniger wahrscheinlich, dass das Baujahr bzw. die entsprechende Klasse nicht bekannt ist. Daher werden hier nur die älteren Gebäude betrachtet (errichtet vor 1994).

Tab. 20: Pauschale U-Werte opaker Bauteile nach Baualtersklassen ohne zusätzliche Dämmung als Grundlage für die MOBASY-Realbilanz

Baualtersklasse		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		... 1859	1860 ... 1918	1919 ... 1948	1949 ... 1957	1958 ... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
MOBASY-Pauschalwerte		U-Wert [W/(m²K)]											
Dach	Default	2,00	2,00	2,00	1,60	1,20	0,80	0,60	0,40	0,25	0,18	0,15	0,15
	Massiv	2,00	2,00	2,00	1,20	1,00	0,60	0,50	0,40	0,25	0,18	0,15	0,15
	Holz	2,00	2,00	2,00	1,60	1,20	0,80	0,60	0,40	0,25	0,18	0,15	0,15
Geschossdecke	Default	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,90	0,60	0,40	0,25	0,18	0,15	0,15
	Massiv	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,00	0,70	0,40	0,25	0,18	0,15	0,15
	Holz	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,25	0,18	0,15	0,15
Außenwand	Default	1,70	1,70	1,50	1,30	1,20	1,00	0,80	0,70	0,50	0,22	0,20	0,18
	Massiv	1,70	1,70	1,50	1,30	1,20	1,00	0,80	0,70	0,50	0,22	0,20	0,18
	Holz	1,90	1,90	1,50	1,30	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,22	0,20	0,18
Fußboden / Kellerdecke	Default	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40	0,26	0,24	0,18
	Massiv	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40	0,26	0,24	0,18
	Holz	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,60	0,40	0,40	0,26	0,24	0,18
Unsicherheit		+/- 30%	+/- 30%	+/- 30%	+/- 30%	+/- 30%	+/- 30%	+/- 30%	+/- 25%	+/- 20%	+/- 20%	+/- 20%	+/- 20%

Schriftfarbe Zahlen: schwarz = aus Typologien / blau = aus Beispielgebäuden

Zu beachten ist, dass es sich bei den pauschalen U-Wertungen um Auswertungen auf der Grundlage der Auswahl von als typisch angesehenen Konstruktionen durch Experten handelt und dass diese nicht empirisch belastbar sind. Da es jedoch keine Stichprobenerhebungen zu den Konstruktionen nicht modernisierter Gebäude gibt, ist derzeit keine bessere Lösung verfügbar.

Außerdem ist zu beachten, dass die U-Wert-Berechnungen stets nach den gängigen Regeln für das reine Bauteil im Originalzustand durchgeführt wurden – ohne Kalibrierung durch Messungen (weder die Wärmeleitfähigkeiten der Materialien noch der Gesamt-U-Wert wurde am Gebäude messtechnisch ermittelt). Auch die in der Praxis vorkommenden zusätzlichen Schichten (Verkleidungen, dicke Tapetenschichten, Dämmtapeten, etc.) und Minderungen des Wärmeübergangs (Hohlräume hinter Verkleidungen, nahe der Wand aufgestellte Möbel und Regale, Anbauten, Fassadenbegrünung, ...) sind in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Forschungsbedarf

- Es ist nicht auszuschließen, dass für in der Praxis vorkommende Bestandsbauteile der reale, in der Heizzeit auftretende Transmissionswärmeverlust pro m² Außenhülle und pro K mittlerer Lufttemperaturdifferenz von dem nach den gängigen Regeln der Technik ermittelten U-Wert deutlich abweicht. So können auch die hier dargestellten Pauschalwerte mit einem systematischen Fehler behaftet sein. Eine Kalibrierung der pauschalen U-Werte mit messtechnisch ermittelten Daten des effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten an einer großen Stichprobe wäre im Prinzip wünschenswert. Allerdings wäre der Aufwand im Vergleich zum Erkenntnisgewinn für das Verbrauchscontrolling sehr hoch, so dass die Durchführung eines entsprechenden Forschungsvorhabens hier nicht empfohlen werden soll.

C.2 Flächenanteil von Wärmeschutz-Modernisierungen

Für zwei Fälle werden Pauschalansätze für den Flächenanteil von Wärmeschutzmodernisierungen benötigt:

- (1) Es wurde bei dem Bauteil nachträglich Wärmedämmung angebracht, aber der Flächenanteil ist unbekannt.
- (2) Es ist unbekannt, ob bei dem Bauteil nachträglich eine Wärmedämmung angebracht wurde.

Als Grundlage für diese Pauschalwerte werden die bei der Wohngebäudeerhebung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018] erfassten Daten differenziert nach Gebäudegröße (Ein-/Zweifamilienhäuser "EZFH" und Mehrfamilienhäuser "MFH") und nach Baualtersklasse herangezogen. Diese sind in Tab. 21 wiedergegeben. In Tab. 22 finden sich die daraus abgeleiteten MOBASY-Pauschalwerte.

Die Mittelwerte des Flächenanteils der Modernisierung sind zwar bekannt, nicht jedoch die Häufigkeitsverteilung. Die Unsicherheit der verwendeten Pauschalwerte für den Flächenanteil muss also abgeschätzt werden. Der Verlauf der Dichtefunktion kann wie folgt vermutet werden:

- Bauteile mit energetischer Modernisierung: Die Verteilung wird vermutlich ihre größte Dichte im Bereich zwischen dem Mittelwert und 100% haben und dann in Richtung niedriger Werte zunehmend kleiner werden.
- Bauteile im Gesamtbestand: Die Verteilung wird wahrscheinlich zwei Bereiche mit hoher Dichte aufweisen: im Bereich 0% (Gebäude ohne Wärmeschutz-Modernisierung) und im Bereich zwischen dem Mittelwert modernisierter Gebäude und 100% (Gebäude mit Wärmeschutz-Modernisierung) – dazwischen wird die Dichte vermutlich eher niedrig sein.

Entsprechend dem in Kapitel 2.2 beschriebenen vereinfachten Schema wird zur Abschätzung der Unsicherheit des gedämmten Flächenanteils ohne empirische Grundlage als Hilfsgröße ein typischer oberer und ein typischer unterer Wert identifiziert. Als Maß für die Unsicherheit wird die Hälfte der Differenz beider Größen verwendet. In Tab. 22 finden sich die so abgeschätzten Zahlenwerte als Eingangsgrößen zur Abschätzung der Unsicherheit des Energiebedarfs.

Bei der Anwendung innerhalb der vereinfachten MOBASY-Unsicherheitsbewertung gilt die zusätzliche Bedingung, dass die (absolute) Unsicherheit kleiner als die Abstände des Flächenanteil-Pauschalwerts zu 0% und zu 100% sein muss (siehe Fußnote an der Tabelle). Der Grund ist, dass Eingabedaten "Pauschalwert plus Unsicherheit" und "Pauschalwert minus Unsicherheit" noch physikalisch sinnvoll und grundsätzlich rechenbar sein sollen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass dieser Ansatz insbesondere bei nicht vorhandener Information über nachträgliche Dämmung zur Unterschätzung der tatsächlichen Unsicherheit führen kann. Sollen qualifizierte Aussagen über die Energiebedarfsspanne derartiger Gebäude gemacht werden, wäre es sinnvoller zwei Grenzfälle zu betrachten und für beide den Energiebedarf zu berechnen – eine mit dem typischen oberen und eine mit dem typischen unteren Wert des Flächenanteils (also im Fall eines völlig unbekannten Zustands die Flächenanteile 0% und 100%).

Merkmale für die Weiterentwicklung

- Zur weiteren Verfeinerung wäre es evtl. sinnvoll für den Fall einer Innendämmung (oder falls Außenwanddämmung nicht angebracht werden kann) die Pauschalansätze für den Flächenanteil zu modifizieren. Die Anteile der Innendämmung finden sich in [Cischinsky / Diefenbach 2018] in Tab. 25. Das gleiche gilt für die Kerndämmung. Allerdings muss hierzu auch geklärt werden, wie Kombinationen dieser drei Maßnahmenarten behandelt bzw. mit dem einfachen Schema sinnvoll abgebildet werden können.

Forschungsbedarf

- Die Unsicherheit des Flächenanteils wurde mit einem sehr einfachen Schema ermittelt, das auch dem Umstand Rechnung trägt, dass aus der Datenerhebung [Cischinsky / Diefenbach 2018] eine Häufigkeitsverteilung für den Flächenanteil je Bauteil nicht als Auswertung vorliegt. Dabei liegt die Problematik zum einen in der (verfahrensbedingten) Vereinfachung in Form einer symmetrischen Verteilung. Zum anderen ist es sehr wahrscheinlich, dass die tatsächliche Dichteverteilung sehr hohe Werte im Bereich 0% und im Bereich über 50% hat. Die Auswirkung dieser Vereinfachung auf das Gesamtergebnis sollte für unterschiedliche Fälle überprüft werden (z.B. mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulation) – insbesondere auch in Anbetracht der sehr großen Auswirkungen der Unsicherheit des Flächenanteils teilgedämmter Flächen auf die relative Unsicherheit des U-Wertes (siehe Parametervariation in Anhang C.5.4). Falls sie relevant ist, könnte eine Methodik zur Korrektur der Unsicherheit des Heizwärme- und des Endenergiebedarfs abgeleitet werden.

Tab. 21: Flächenanteil der nachträglichen Wärmedämmung bei Bestandsgebäuden; statistische Daten (Mittelwerte und Unsicherheit der Mittelwerte) aus der Wohngebäudeerhebung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018] (eigene Darstellung der in der Quelle angegebenen Daten)

Baujahr Gebäude	Art des Wohngebäudes	Dach / OG-Decke	Außenwand	Kellerdecke / Fußboden gegen Erdreich
Datenerhebung 2016				
Anteil der Altbauten, die eine nachträgliche Dämmung des Bauteils aufweisen				
... 1978	EZFH	59,1% +/- 1,6 %	35,1% +/- 1,5 %	16,3% +/- 1,1 %
... 1978	MFH	68,5% +/- 1,8 %	47,8% +/- 2,1 %	23,6% +/- 1,6 %
gedämmte Flächenanteile, falls nachträgliche Dämmung vorhanden				
... 1978	EZFH	90,1% +/- 1,4 %	72,7% +/- 3,2 %	80,1% +/- 1,5 %
... 1978	MFH	90,1% +/- 1,4 %	77,6% +/- 3,4 %	80,1% +/- 1,5 %
nachträglich gedämmte Bauteilfläche aller Altbauten (Gebäude gewichtet mit Flächenanteilen)				
... 1978	EZFH	53,2% +/- 1,6 %	25,5% +/- 1,6 %	13,1% +/- 0,9 %
... 1978	MFH	61,7% +/- 1,9 %	37,1% +/- 2,3 %	18,9% +/- 1,3 %
Wohngebäude mit nachträglicher Dämmung des Bauteils				
alle	alle	41,1% +/- 1,0 %	25,1% +/- 0,9 %	12,1% +/- 0,6 %
... 1948	alle	68,0% +/- 2,1 %	40,7% +/- 2,3 %	21,8% +/- 1,7 %
1949 ... 1957	alle	67,6% +/- 3,8 %	42,1% +/- 3,4 %	18,6% +/- 2,5 %
1958 ... 1968	alle	62,2% +/- 2,3 %	41,1% +/- 2,6 %	16,2% +/- 1,6 %
1969 ... 1978	alle	43,9% +/- 2,7 %	26,7% +/- 2,2 %	11,5% +/- 1,7 %
1979 ... 1994	alle	21,1% +/- 2,0 %	11,8% +/- 1,7 %	5,9% +/- 1,0 %
1995 ...	alle	4,0% +/- 0,7 %	2,8% +/- 0,6 %	1,9% +/- 0,7 %
nachträglich gedämmte Bauteilfläche aller Gebäude (Gebäude gewichtet mit Flächenanteilen)				
alle	alle	37,2% +/- 1,0 %	18,8% +/- 0,9 %	9,7% +/- 0,6 %
... 1948	alle	61,2% +/- 2,1 %	29,6% +/- 2,3 %	17,5% +/- 1,7 %
1949 ... 1957	alle	60,9% +/- 3,8 %	32,9% +/- 3,4 %	14,9% +/- 2,5 %
1958 ... 1968	alle	56,1% +/- 2,3 %	29,6% +/- 2,6 %	13,0% +/- 1,6 %
1969 ... 1978	alle	39,5% +/- 2,7 %	20,2% +/- 2,2 %	9,2% +/- 1,7 %
1979 ... 1994	alle	19,0% +/- 2,0 %	9,9% +/- 1,7 %	4,7% +/- 1,0 %
1995 ...	alle	3,6% +/- 0,7 %	2,2% +/- 0,6 %	1,5% +/- 0,7 %

Tab. 22: MOBASY-Pauschalwerte für Bauteile ohne Angaben zum Flächenanteil nachträglich durchgeführter Dämmmaßnahmen bzw. ohne Angaben zur Wärmedämmung allgemein
(abgeleitet aus den empirischen Werten in Tab. 21)

Baujahr Gebäude	Art des Wohngebäudes	Dach / OG-Decke		Außenwand		Kellerdecke / Fußboden gegen Erdreich	
MOBASY Pauschalwerte							
gedämmte Flächenanteile, falls nachträgliche Dämmung vorhanden							
alle	alle	90%		75%		80%	
typischer oberer und unterer Wert		oben	unten	oben	unten	oben	unten
alle	alle	100%	80%	100%	50%	100%	60%
(absolute) Unsicherheit des Flächenanteils							
alle	alle	+/- 10%		+/- 25%		+/- 20%	
		Tabellenwert: 30% (0 ... 30%)*					
gedämmte Flächenanteile, falls keine Information vorliegen, ob nachträgliche Dämmung vorhanden ist (nachträglich gedämmte Bauteilfläche Gesamtbestand)							
... 1978	EZFH	53%		26%		13%	
... 1978	MFH	62%		37%		19%	
1979 ... 1994	alle	19%		10%		5%	
1995 ... 2009	alle	4%		2%		2%	
2010 ...	alle	0%		0%		0%	
typischer oberer und unterer Wert		oben	unten	oben	unten	oben	unten
... 1978	alle	100%	0%	100%	0%	100%	0%
(absolute) Unsicherheit des Flächenanteils							
... 1978	alle	+/- 50%		+/- 50%		+/- 50%	
		Tabellenwert: 50% (0 ... 50%)*					

*) zusätzlich gilt die Bedingung, dass die (absolute) Unsicherheit kleiner als die Abstände des Flächenanteil-Pauschalwerts zu 0% und zu 100% sein muss.

C.3 Dämmstoffstärken

Statistische Daten zu den im deutschen Wohngebäudebestand bei Neubau und Modernisierung verwendeten Dämmstoffstärken sind aus den 2009 und 2016 durchgeführten Stichprobenerhebungen verfügbar [Diefenbach et al. 2010] [Cischinsky / Diefenbach 2018]. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Ergebnisse der Erhebungen. Im farbig hinterlegten unteren Teil der Tabelle finden sich die daraus abgeleiteten MOBASY-Pauschalwerte sowie die geschätzten Unsicherheiten bei Abbildung eines Einzelgebäudes.

Die in der Tabelle angegebenen Dämmstoffstärken für vor 1995 durchgeführte Maßnahmen finden sich nicht in den Erhebungen und wurden daher von den Autoren des vorliegenden Berichts geschätzt (so wie auch die Lambda-Werte, siehe folgender Abschnitt).

Tab. 23: Mittlere Dämmstoffstärken und Unsicherheit des Mittelwerts ("Standardfehler") in cm
Daten aus den Wohngebäudeerhebungen 2009 [Diefenbach et al. 2010] und 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018]

mittlere Dämmstoffdicken und Unsicherheit des Mittelwerts in cm						
	Baujahr Gebäude	Ausführung Däm- mung	Dach	OG-Decke	Außenwand	Kellerdecke / Fußboden ge- gen Erdreich
Datenerhebung 2009						
Dämmstärke nach Gebäudebaujahr (original oder modernisiert)						
	alle		13,3 +/- 0,1		9,4 +/- 0,2	8,0 +/- 0,2
	... 1978		12,2 +/- 0,2		8,4 +/- 0,2	6,8 +/- 0,2
	1979 ... 2004		14,3 +/- 0,2		10,2 +/- 0,2	8,5 +/- 0,2
	2005 ... 2009		18,7 +/- 0,4		14,1 +/- 0,6	11,9 +/- 0,5
Dämmstärke bei Modernisierung von Altbau- ten nach Ausführungsjahr						
	... 1978	alle	12,8 +/- 0,2		9,1 +/- 0,2	7,5 +/- 0,3
	... 1978	... 1999	11,6 +/- 0,2		8,2 +/- 0,2	6,8 +/- 0,3
	... 1978	2000 ... 2004	14,0 +/- 0,5		9,6 +/- 0,5	8,4 +/- 0,5
	... 1978	2005 ... 2009	16,2 +/- 0,3		11,1 +/- 0,3	8,5 +/- 0,5
Datenerhebung 2016						
Dämmstärke nach Gebäudebaujahr (original oder modernisiert)						
	alle		14,0 +/- 0,2	13,3 +/- 0,2	9,5 +/- 0,1	8,4 +/- 0,2
	... 1978		13,1 +/- 0,2	12,0 +/- 0,2	8,4 +/- 0,2	7,1 +/- 0,2
	1979 ... 2009		14,5 +/- 0,3	14,2 +/- 0,3	9,9 +/- 0,2	8,7 +/- 0,2
	2010 ... 2016		20,2 +/- 0,6	19,1 +/- 0,8	16,2 +/- 0,6	13,3 +/- 0,3
Dämmstärke bei Modernisierung von Altbau- ten nach Ausführungsjahr						
	... 1978	alle	13,5 +/- 0,3	12,5 +/- 0,2	9,3 +/- 0,2	7,7 +/- 0,2
	... 1978	... 2009	12,2 +/- 0,2	11,6 +/- 0,3	8,4 +/- 0,2	7,4 +/- 0,2
	... 1978	2010 ... 2012	15,3 +/- 0,5	13,8 +/- 0,6	11,6 +/- 0,6	7,9 +/- 0,7
	... 1978	2012 ... 2016	17,8 +/- 0,9	15,0 +/- 0,6	12,1 +/- 0,5	9,0 +/- 0,7
Häufigkeit Dämmstärken (nachträgliche Däm- mung)						
	... 1978	... 2 cm	5%	9%	3%	8%
	... 1978	3 ... 5 cm			21%	38%
	... 1978	6 ... 9 cm	15%	18%	35%	30%
	... 1978	10 ... 13 cm	37%	35%	25%	17%
	... 1978	14 ... 17 cm	21%	22%	13%	4%
	... 1978	18 ... 21 cm	14%	10%	2%	3%
	... 1978	22 ... 25 cm	5%	4%	1%	
	... 1978	26 ... cm	3%	2%		
	... 1978	Mittelwert	13,5 cm	12,5 cm	9,3 cm	7,7 cm
	... 1978	StdAbw*	5,4 cm	5,4 cm	4,4 cm	4,3 cm
	... 1978	StdAbw rel*	40%	43%	47%	56%

Tab. 24: MOBASY-Pauschalwerte für die mittlere Dämmstoffstärke und zugehörige Unsicherheiten in cm (teilweise abgeleitet aus den empirischen Werten in Tab. 23)

mittlere Dämmstoffdicken und Unsicherheit des Mittelwerts in cm					
MOBASY Pauschalwerte					
Baujahr Gebäude	Ausführung Dämmung	Dach	OG-Decke	Außenwand***	Kellerdecke / Fußboden gegen Erdreich
Dämmstärke nach Gebäudebaujahr **					
... 1978	- unbekannt -	13	12	8	8
1979 ... 2001	- unbekannt -	14	14	10	9
2002 ... 2009	- unbekannt -	15	16	12	10
2010 ...	- unbekannt -	20	19	16	13
Dämmstärke Modernisierung nach Ausführungsjahr					
... 1978	- unbekannt -	14	13	9	8
... 1978	... 1968	1	1	1	1
... 1978	1969 ... 1978	5	4	2	1
... 1978	1979 ... 1983	8	6	3	2
... 1978	1984 ... 1994	10	9	5	4
... 1978	1995 ... 2001	12	12	8	7
... 1978	2002 ... 2009	14	13	10	8
... 1978	2010 ... 2015	15	14	12	8
... 1978	2016 ...	18	15	12	10
Unsicherheit (Streubreite) (Minimum aus absoluter und relativer)					
absolut		+/- 5	+/- 5	+/- 5	+/- 5
relativ		+/- 40%	+/- 40%	+/- 40%	+/- 40%

MOBASY-Pauschalwerte in grauer Schrift sind nicht aus der Statistik abgeleitet sondern geschätzt

*) vereinfachend aus der publizierten Häufigkeitsverteilung abgeleitet

**) Pauschalwert bei Angabe, dass Dämmung vorhanden aber sonst nichts bekannt

***) Innenwanddämmung: halbe Dämmstärke

C.4 Wärmeleitfähigkeit von Dämm-Maßnahmen

Für die Anwendung von Wärmedämmung im Hochbau existiert eine große Vielfalt an Materialien, die sich im Laufe der Zeit deutlich verändert hat [Eicke-Hennig 2011]. Allerdings sind bei der Datenaufnahme für ein Bestandsgebäude nur in sehr seltenen Fällen Informationen über die Wärmeleitfähigkeiten früher realisierter Dämmmaßnahmen verfügbar. Die Lambda-Werte gehören daher nicht zu den Energieprofil-Monitoring-Indikatoren und sind auch nicht im Hauptfragebogen enthalten. Es muss im Regelfall also immer von Annahmen ausgegangen werden – wofür die im Folgenden herzuleitenden Pauschalwerte benötigt werden. Ist die Wärmeleitfähigkeit des eingesetzten Dämmmaterials bekannt, können diese im Expertenteil aber auch eingesetzt werden.

Die folgende Tabelle zeigt die Ansätze für die mittlere Wärmeleitfähigkeit und die Streuung differenziert nach Anwendungszeitraum und Anwendungsfall. Bei den historischen Baustoffen ist zu beachten, dass hier nur Materialien berücksichtigt werden dürfen, die bei der Datenaufnahme als "Dämmung" erkannt bzw. angesehen werden (also z.B. keine Holzverschalungen oder Holzwerkstoffplatten). Folglich kommt im baulichen Bereich bis in die 1950er Jahre im Wesentlichen Kork als erkannter Dämmstoff in Frage. Nach [Eicke-Hennig 2011] liegt der Lambda-Wert von Kork bei 0,04 bis 0,06 W/(m·K), als Pauschalwert für Dämmstoffe bis 1968

wird entsprechend ein Pauschalwert von $0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ angesetzt. Die Werte ab 1969 entsprechen industriell hergestellten Dämmstoffen (vgl. [Eicke-Hennig 2011], [Renhof 2018]).

Da bei Bestandsgebäuden im Gegensatz zur Wärmeleitfähigkeit die Dämmstärke und der Flächenanteil (nachträglicher) Dämmung einfacher ermittelt werden kann, müssen bei der Herleitung der Pauschalwerte für die Wärmeleitfähigkeit die praktischen Möglichkeiten der Messung von Dämmstärke und Flächenanteil berücksichtigt werden: Für inhomogene Konstruktionen, wie z.B. die Zwischensparrendämmung, wird (sofern möglich) die Dicke der Dämmschicht gemessen und bei einer vollständigen Dämmung des Dachs von einem Flächenanteil von 100% ausgegangen. Entsprechend wird bei den Pauschalwerten eine "effektive Wärmeleitfähigkeit" angegeben, die der Dämmwirkung der angegebenen nominalen Dämmstoffstärke entspricht. Die Werte für den Sonderfall "Steildach" werden unter Berücksichtigung des Holzanteils im folgenden Abschnitt hergeleitet.

Tab. 25: MOBASY-Pauschalansätze für die effektive Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmmaterialien differenziert nach dem Zeitraum des Einbaus der Wärmedämmung
(Herleitung der Pauschalwerte für Steildach siehe nächster Abschnitt)

Effektive Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen in $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$							
Zeitraum Ausführung der Dämm-Maßnahmen	Dämmung Steildach	Dämmung Massivdach	Dämmung auf/unter oberster Geschossdecke	Dämmung Außenwand	Innendämmung Außenwand	Dämmung Bauteil gegen Keller	Dämmung Bauteil gegen Erdreich
MOBASY Pauschalwerte							
effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$	bei Dämmung zwischen den Sparren / unter Einbeziehung des Holzanteils					Kellerdecke oder anderes Bauteil gegen Keller	Fußboden oder der Kellerwand gegen Erdreich
... 1968	0,065	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
1969 ... 1983	0,060	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
1984 ... 2001	0,055	0,035	0,040	0,040	0,040	0,040	0,035
2002 ...	0,045	0,030	0,035	0,035	0,035	0,035	0,030
relative Unsicherheit (Streubreite)	+/- 20%	+/- 20%	+/- 20%	+/- 20%	+/- 20%	+/- 20%	+/- 20%

Stand: 28-05-2020

Sonderfall: Wärmeleitfähigkeiten von Dämmstoffen in inhomogenen Maßnahmenkonstruktionen

Die Dämmwirkung von nachträglichen Wärmeschutzmaßnahmen wird über drei Parameter bestimmt: Über den Flächenanteil, über die Dämmstoffstärke und über die effektive Wärmeleitfähigkeit der zusätzlichen Dämmung. Bei den ersten beiden Größen handelt es sich um Monitoring-Indikatoren, die noch relativ leicht bei einem bestehenden Gebäude erfasst werden können. Die effektive Wärmeleitfähigkeit entspricht bei einfachen Dämmmaßnahmen wie flächig auf der Geschossdecke im Dachboden ausgelegten Dämmplatten der Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials. Handelt es sich um eine nicht-homogene Situation wie z.B. bei einer Zwischensparrendämmungen entspricht die effektive Wärmeleitfähigkeit der Wärmeleitfähigkeit, die eine homogene Dämmplattenschicht der gleichen Dämmschichtdicke haben müsste, um die gleiche Dämmwirkung zu erzielen wie die inhomogene Dämmkonstruktion. Die Rechenregel heißt also: "effektive Wärmeleitfähigkeit" = nominale Dämmstoffstärke geteilt durch Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion.

Für eine im Bestand vorgefundene Zwischensparrendämmung bei genauem Aufmaß der Konstruktion den Wärmedurchlasswiderstand rechnerisch zu ermitteln, wäre zu aufwändig und bliebe trotzdem ungenau, da ja ohnehin die Wärmeleitfähigkeiten in der Regel nicht bekannt sind. Daher sollen ausgehend von den

typischen Wärmeleitfähigkeiten der Materialien für typische Situationen effektive Wärmeleitfähigkeiten abgeleitet werden. Im Folgenden wird dies für den weitverbreiteten Fall eines gedämmten Steildachs dargestellt – dies ist aber auch auf andere Fälle mit Dämmung zwischen Deckenbalken oder konstruktiven Hölzern (z.B. Fachwerk) übertragbar.

Bei der Steildachdämmung wurden in den 1970er und 1980er Jahren im Zuge einer Dachneueindeckung häufig Matten auf die raumseitige Verschalung aufgelegt oder vom Spitzboden aus eingeschoben. In der Regel wurde dabei nicht die volle Sparrenhöhe ausgeschöpft. Erst mit dem Aufkommen von diffusionsoffenen Unterspannbahnen wurde vermehrt der volle Sparrenzwischenraum für die Dämmung genutzt. Ab den 1990er Jahren war es zunehmend üblich zusätzliche Dämmung in der Installationsebene (für Elektro- oder auch Heizleitungen) unter den Sparren unterzubringen, was die Wärmebrückenwirkung der Sparren reduzierte und die Dämmwirkung bei gleicher Dämmstärke verbesserte.

Mit dem Fragebogen werden nur die nominale Dämmstärke und keine weiteren Details abgefragt (sofern die Dämmung im Dachbereich überhaupt einsehbar ist oder das Wissen über die damaligen Maßnahmen noch vorhanden ist). Um die tatsächliche Wirkung abzuschätzen, müssen Annahmen basierend auf Erfahrungswerten aus der Energieberatung getroffen werden. Das in den folgenden beiden Tabellen dargestellte Modell geht bis zu einer Dämmstärke von 12 cm davon aus, dass die Dämmung nur zwischen die Sparren eingebracht wurde, bei größeren Dämmstärken wird eine Kombination aus Zwischen- und Untersparrendämmung (oder Aufsparrendämmung) angenommen.

Unten in Tab. 27 finden sich als Vereinfachung U-Wert-Zuschläge auf die Wärmeleitfähigkeit des reinen Dämmmaterials, wenn die Dämmung innerhalb einer Holzkonstruktion eingebaut wird. Diese Zuschläge wurden bei der Aufstellung von Tab. 25 in der Spalte "Dämmung Steildach" berücksichtigt.

Tab. 26: U-Werte von gedämmten Steildachkonstruktionen in Abhängigkeit von nominaler Dämmstärke und der Wärmeleitfähigkeit des reinen Dämmstoffs

Dämmstärke			Wärmeleitfähigkeit reiner Dämmstoff [W/(m·K)]												
gesamt	Ebene 1	Ebene 2	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080
(nominal)	Dämmung zwischen den Sparren	zusätzliche Dämmschicht	U-Wert (Annahme Holzanteil Ebene 1: 15%)												
[cm]	[cm]	[cm]	[W/(m²K)]												
2	2	0	1,13	1,21	1,28	1,35	1,41	1,47	1,52	1,57	1,62	1,66	1,70	1,74	1,78
4	4	0	0,70	0,76	0,82	0,87	0,92	0,97	1,02	1,07	1,11	1,15	1,19	1,23	1,26
6	6	0	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73	0,77	0,81	0,84	0,88	0,91	0,95	0,98
8	8	0	0,40	0,44	0,47	0,51	0,55	0,58	0,62	0,65	0,68	0,71	0,74	0,77	0,80
10	10	0	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,68
12	12	0	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44	0,47	0,49	0,52	0,54	0,56	0,59
14	12	2	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51
16	12	4	0,18	0,20	0,23	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45
18	14	4	0,16	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41
20	16	4	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38
22	16	6	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,24	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,34
24	18	6	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32
26	20	6	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30
28	22	6	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28
30	22	8	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25	0,26
32	24	8	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25
34	24	10	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
36	26	10	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22
38	26	12	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
40	28	12	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20

Tab. 27: Effektive Wärmeleitfähigkeit von gedämmten Steildachkonstruktionen in Abhängigkeit von nominaler Dämmstärke und der Wärmeleitfähigkeit des reinen Dämmstoffs

Dämmstärke			Wärmeleitfähigkeit reiner Dämmstoff [W/(m·K)]												
gesamt	Ebene 1	Ebene 2	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080
(nominal)	Dämmung zwischen den Sparren	zusätzliche Dämmschicht	effektive Wärmeleitfähigkeit (Annahme Holzanteil Ebene 1: 15%)												
[cm]	[cm]	[cm]	[W/(m·K)]												
2	2	0	0,037	0,041	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,071	0,075	0,079	0,083	0,088
4	4	0	0,037	0,041	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,071	0,075	0,079	0,083	0,088
6	6	0	0,037	0,041	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,071	0,075	0,079	0,083	0,088
8	8	0	0,037	0,041	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,071	0,075	0,079	0,083	0,088
10	10	0	0,037	0,041	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,071	0,075	0,079	0,083	0,088
12	12	0	0,037	0,041	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,071	0,075	0,079	0,083	0,088
14	12	2	0,033	0,037	0,042	0,047	0,051	0,056	0,060	0,064	0,069	0,073	0,078	0,082	0,086
16	12	4	0,030	0,035	0,040	0,045	0,049	0,054	0,058	0,063	0,068	0,072	0,077	0,081	0,085
18	14	4	0,031	0,036	0,041	0,045	0,050	0,054	0,059	0,063	0,068	0,072	0,077	0,081	0,086
20	16	4	0,031	0,036	0,041	0,046	0,050	0,055	0,059	0,064	0,068	0,073	0,077	0,081	0,086
22	16	6	0,030	0,035	0,040	0,044	0,049	0,054	0,058	0,063	0,067	0,072	0,076	0,081	0,085
24	18	6	0,030	0,035	0,040	0,045	0,049	0,054	0,058	0,063	0,068	0,072	0,077	0,081	0,085
26	20	6	0,031	0,036	0,040	0,045	0,050	0,054	0,059	0,063	0,068	0,072	0,077	0,081	0,086
28	22	6	0,031	0,036	0,041	0,045	0,050	0,054	0,059	0,063	0,068	0,072	0,077	0,081	0,086
30	22	8	0,030	0,035	0,040	0,044	0,049	0,054	0,058	0,063	0,067	0,072	0,076	0,081	0,085
32	24	8	0,030	0,035	0,040	0,045	0,049	0,054	0,058	0,063	0,068	0,072	0,077	0,081	0,085
34	24	10	0,029	0,034	0,039	0,044	0,049	0,053	0,058	0,062	0,067	0,072	0,076	0,081	0,085
36	26	10	0,030	0,035	0,040	0,044	0,049	0,054	0,058	0,063	0,067	0,072	0,076	0,081	0,085
38	26	12	0,029	0,034	0,039	0,044	0,048	0,053	0,058	0,062	0,067	0,071	0,076	0,080	0,085
40	28	12	0,029	0,034	0,039	0,044	0,049	0,053	0,058	0,062	0,067	0,072	0,076	0,081	0,085
Vereinfachung für nominale Dämmstärke															
bis 12 cm			0,037	0,041	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,071	0,075	0,079	0,083	0,088
mehr als 12 cm			0,030	0,035	0,040	0,045	0,049	0,054	0,058	0,063	0,067	0,072	0,076	0,081	0,085
Zuschlag auf Wärmeleitfähigkeit															
bis 12 cm			0,017	0,016	0,015	0,014	0,014	0,013	0,012	0,011	0,011	0,010	0,009	0,008	0,008
mehr als 12 cm			0,010	0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005
pauschale Zuschläge auf die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs			0,02 bis 0,045 W/(m·K)						0,050 bis 0,080 W/(m·K)						
bis 12 cm			0,015						0,010						
mehr als 12 cm			0,010												

C.5 Resultierende Unsicherheit des U-Wertes gedämmter Konstruktionen

C.5.1 Einführung

Aus den oben dargestellten Unsicherheiten der Eingabegrößen für die U-Wert-Berechnung folgt eine Gesamtunsicherheit des ermittelten U-Wertes. Diese soll für die MOBASY-Realbilanzierung als Grundlage für die Gesamtunsicherheit des Endenergiebedarfs abgeschätzt werden. Im Verfahren soll insbesondere abgebildet werden, dass sich die Unsicherheit des U-Wertes deutlich vergrößert, wenn auf Grund fehlender Angaben Pauschalwerte genutzt werden, die typische oder mittlere Fälle wiedergeben. Weiterhin soll die Vertrauenswürdigkeit der Datenquellen in den Unsicherheiten abgebildet werden.

Die Herleitung und Darstellung des Mechanismus für die Berücksichtigung von Unsicherheiten erfolgt im Folgenden universell für beliebige Bauteilarten, da diese sich in dieser Hinsicht nicht unterscheiden. Im MOBASY-Realbilanz-Rechenalgorithmus und im Excel-Tool erfolgt die Betrachtung natürlich jeweils separat für die Bauteiltypen Dach, oberste Geschossdecke, Außenwand und Fußboden.

Es wird die Unsicherheit der folgenden Energieprofil-Erhebungsgrößen bzw. Modell-Eingangsvariablen berücksichtigt:

Tab. 28: Mit Unsicherheiten belegte Größen (Erhebungsgrößen bzw. Modell-Eingangsvariablen)

Formel-symbol	Variable / Datenfeldname*	Einheit	Bezeichnung	Anmerkung
U_{or}	U_Original	[W/m ² K]	U-Wert im Original-Zustand ohne zusätzliche Dämmung	
f_{ins}	f_Insulation	[-]	Flächenanteil Dämmung	bezogen auf gesamtes Bauteil
d_{ins}	d_Insulation	[cm] bzw. [m]	(nominale) Dämmstärke	bei unterschiedlichen Dämmstärken: überwiegende
$\lambda_{ins,eff}$	Lambda_Insulation	[W/(m·K)]	effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	bei inhomogenen Konstruktionen die Wärmeleitfähigkeit, die bei gegebener nominale Dämmstärke bei Annahme einer homogenen Dämmung den gleichen U-Wert ergibt

*) Die jeweiligen Modell-Eingangsvariablen haben das Suffix "_Calc".

Die Formelsymbole und Datenfeldnamen sind gegenüber dem MOBASY-Realbilanz-Algorithmus vereinfacht und verkürzt, um die Übersichtlichkeit zu verbessern. Die Formelsymbole dienen vor allem der mathematisch/physikalischen Betrachtung, die Datenfeldnamen sind nahe am Excel-Rechenalgorithmus und vereinfachen z. B. die Beschriftung von Achsen in Excel-Diagrammen.

Hier nicht betrachtet werden sollen folgenden Unsicherheiten:

- Reduktionsfaktor Erdreich
- des Minderungsfaktors vorgelagerte unbeheizte Bereiche

C.5.2 Stufen der Unsicherheit für die Eingangsvariablen

Für jede dieser Variablen

- werden fünf Stufen der Unsicherheit gebildet und mit "A", "B", "C", "D", "E" bezeichnet
- wird definiert, welche Stufe in welchem Fall angesetzt wird (in Worten + in Formeln);
- wird je Stufe die Unsicherheit abgeschätzt, möglichst unter Verwendung der empirischen Daten oben, und zwar als relative oder als absolute Unsicherheit (ggf. beides, bei der Anwendung ist das Minimum aus relativ und absolut definierter Unsicherheit relevant).

Die oben definierten Angaben (mit Ausnahme der Formeln für die Anwendung) finden sich in den beiden Tabellen unten (Auszug aus der Tabelle "Tab.UncertaintyLevels").

Tab. 29: Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen je Erhebungsgröße bzw. Modelleingangsvariable

Formel-symbol	Variable / Datenfeldname*	Unsicherheitsklasse				
		A	B	C	D	E
$U_{eff,precalc}$	U_PreCalc**	Dicke und Wärmeleitfähigkeit von Bauteilschichten aus Planungsdaten, qualitätsgesichert	Dicke und Wärmeleitfähigkeit von Bauteilschichten aus Planungsdaten	Dicke und Materialart von Bauteilschichten, bestimmt durch Vor-Ort-Begehung oder aus beim Eigentümer vorhandenen Daten	U-Wert zugeordnet über die Baualtersklasse (Gebäude- oder Bauteiltypologie)	keine Information über die Konstruktionsart
U_{or}	U_Original	auf der Grundlage von Informationen über die Schichten der realen Konstruktion berechneter U-Wert	U-Wert aus Pauschalwerttabelle, Gebäude nach 1995 errichtet	U-Wert aus Pauschalwerttabelle, Gebäude zwischen 1983 und 1994 errichtet	U-Wert aus Pauschalwerttabelle, Gebäude bis 1983 errichtet	Baujahr des Gebäudes unbekannt
f_{ins}	f_Insulation	Flächenanteil Dämmung aus Planungsdaten, qualitätsgesichert	Flächenanteil Dämmung aus Planungsdaten	Flächenanteil Dämmung ermittelt durch Vor-Ort-Begehung oder aus Akten des Gebäudeeigentümers	Wärmedämmung ist vorhanden, aber keine Information über den Flächenanteil (Pauschalwert ist der durchschnittliche gedämmte Flächenanteil aller Gebäude)	Unbekannt ob nachträgliche Dämmung vorhanden (Pauschalwert ist der durchschnittlich gedämmte Flächenanteil aller Gebäude)
d_{ins}	d_Insulation	Dämmstärke aus Planungsdaten, qualitätsgesichert	Dämmstärke aus Planungsdaten	Dämmstärke ermittelt durch Vor-Ort-Begehung oder aus Akten des Gebäudeeigentümers	Wärmedämmung ist vorhanden, aber keine Information über die Dämmstärke	Wärmedämmung ist vorhanden, aber weder Information über die Dämmstärke noch über das Jahr der Umsetzung
$\lambda_{ins,eff}$	Lambda_Insulation	Wärmeleitfähigkeit aus Planungsdaten, qualitätsgesichert	Wärmeleitfähigkeit aus Planungsdaten	Wärmeleitfähigkeit ermittelt bei Vor-Ort-Begehung (sichtbare Kennzeichnung der Materialien) oder aus Akten des Gebäudeeigentümers	Wärmedämmung ist vorhanden, aber keine Information über die Materialien	Wärmedämmung ist vorhanden, aber weder Information über die Materialien noch über das Jahr der Umsetzung

*) Die jeweiligen Modell-Eingangsvariablen haben das Suffix "_Calc"

**) U_PreCalc: Alternative Vewendung vorab ermittelter U-Werte, sinnvoll insbesondere bei der energetischen Bewertung von Neubauten

Ausgehend von diesen qualitativen Festsetzungen wurden aus den Analysen der vorangegangenen Abschnitte die jeweiligen relativen bzw. absoluten Unsicherheiten der Größen als Standardwerte festgelegt (siehe folgende Tabelle). Sind relative und absolute Werte vorhanden, wird der jeweils kleinere Wert verwendet.

Eine Besonderheit ergibt sich für den Flächenanteil, da eine Streuung um einen Flächenanteil von 0% (keine Dämmung) und von 100% (vollständige Dämmung) nicht viel Sinn macht. Der Modellansatz geht daher davon aus, dass die Unsicherheit des Flächenanteils nicht größer sein kann als die Differenz zu 0% (bei einem Flächenanteil kleiner als 50%) bzw. zu 100% (bei einem Flächenanteil größer gleich 50%). Diese Modellannahme spiegelt sich auch in der Praxis wieder (zumindest für sichtbare Maßnahmen wie ein Wärmedämmverbundsystem): Die Frage, ob ein Bauteil gar nicht gedämmt wurde oder ob es komplett gedämmt wurde lässt sich zuverlässiger beantworten als die Frage wie groß der Flächenanteil der Dämmung bei einer Teilmodernisierung des Bauteils ist.

Tab. 30: Zuordnung von relativen bzw. absoluten Unsicherheiten zu den Unsicherheitsklassen der Erhebungsgrößen bzw. Modelleingangsvariablen
(Sind relative und absolute Werte vorhanden wird das jeweilige Minimum verwendet.)

Formel- symbol	Variable / Datenfeldname*	Relative Unsicherheit					Absolute Unsicherheit					
		Unsicherheitsklasse					Ein- heit	Unsicherheitsklasse				
		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
$U_{eff,precalc}$	U_PreCalc	5%	10%	20%	30%	50%						50%
U_{or}	U_Original_Class	10%	20%	25%	30%	50%						
f_{ins}	f_Insulation**							0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
d_{ins}	d_Insulation***	5%	10%	25%	40%	50%	cm	0,5	1,0	2,0	5,0	8,0
$\lambda_{ins,eff}$	Lambda_Insula- tion	5%	10%	15%	20%	30%						

*) Die jeweiligen Modell-Eingangsvariablen haben das Suffix "_Calc"

**) $f_{Insulation}$: Weitere Bedingung für die relative Unsicherheit des Dämmanteils ($\Delta f_{Insulation_Uncertainty}$): Sie kann nicht größer sein als das Minimum der beiden Werte $f_{Insulation}$ und $1 - f_{Insulation}$.

***) $d_{Insulation}$: Das Minimum der sich aus den absoluten und relativen Angaben ergebenden cm-Beträge wird verwendet.

C.5.3 Unsicherheit des U-Wertes in Abhängigkeit von der Unsicherheit der Eingangsdaten

Nachdem die Unsicherheiten der Eingangsgrößen definiert worden sind, muss nun die Auswirkung auf den resultierenden U-Wert ermittelt werden. Hierfür wird die Sensitivität des U-Wertes bezüglich Änderungen der Eingangsvariablen benötigt.

Der U-Wert von Bauteilen mit nachträglicher Dämmung berechnet sich entsprechend dem TABULA-Modell wie folgt:

$$(11) \quad U_{eff} = (1 - f_{Ins}) \cdot U_{or} + f_{ins} \cdot U_{Ins} \quad [W/(m^2K)]$$

Darin sind unter Berücksichtigung eines möglicherweise anzusetzenden zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstands für angrenzende nicht beheizte Bereiche R_{add} die U-Werte der ungedämmten und der gedämmten Teilfläche:

$$(12) \quad U_{or} = \frac{1}{\frac{1}{U_{or,type}} + R_{add}} \quad [W/(m^2K)]$$

$$(13) \quad U_{Ins} = \frac{1}{\frac{1}{U_{or}} + R_{ins}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{or}} + \frac{d_{ins}}{\lambda_{ins,eff}}} \quad [W/(m^2K)]$$

Setzt man beide U-Werte in Gl. (11) ein, ergibt sich:

$$(14) \quad U_{eff} = (1 - f_{Ins}) \cdot U_{or} + f_{ins} \cdot \frac{1}{\frac{1}{U_{or}} + \frac{d_{ins}}{\lambda_{ins,eff}}} \quad [W/(m^2K)]$$

mit	$U_{or,type}$	U-Wert im Original-Zustand ohne zusätzliche Dämmung als Pauschalwert entsprechend dem Typ des Bauteils (Baualtersklasse des Gebäude, Bauteilart)	$[W/m^2K]$
	R_{add}	optional anzusetzender zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstands für angrenzende nicht beheizte Bereiche	$[m^2K/W]$
	U_{or}	U-Wert im Original-Zustand ohne zusätzliche Dämmung (unter Berücksichtigung möglicherweise angrenzender unbeheizter Bereiche)	$[W/m^2K]$
	f_{ins}	Flächenanteil Dämmung	$[-]$
	d_{ins}	(nominale) Dämmstärke	$[m]$
	$\lambda_{ins,eff}$	effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	$[W/(m \cdot K)]$

Unter der Annahme, dass die Eingangsvariablen der U-Wert-Berechnung voneinander unabhängig sind und dass deren Unsicherheit jeweils eine symmetrische Dichteverteilung aufweist, kann die resultierende Unsicherheit des U-Wertes entsprechend dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ermittelt werden:

$$(15) \quad \frac{\Delta U_{eff}(\Delta U_{or}, \Delta f_{ins}, \Delta d_{ins}, \Delta \lambda_{ins,eff})}{= \sqrt{\Delta U_{eff}^2(\Delta U_{or}) + \Delta U_{eff}^2(\Delta f_{ins}) + \Delta U_{eff}^2(\Delta d_{ins}) + \Delta U_{eff}^2(\Delta \lambda_{ins,eff})}} \quad [W/(m^2K)]$$

mit $\Delta U_{eff}()$	Unsicherheit des berechneten effektiven U-Werts, verursacht durch die Unsicherheit der jeweiligen Eingangsgrößen	$[W/m^2K]$
ΔU_{or}	Unsicherheit des U-Werts im Original-Zustand ohne zusätzliche Dämmung	$[W/m^2K]$
Δf_{ins}	Unsicherheit des Flächenanteils der Dämmung	$[-]$
Δd_{ins}	Unsicherheit der Dämmstärke	$[m]$
$\Delta \lambda_{ins,eff}$	Unsicherheit der effektiven Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	$[W/(m \cdot K)]$

Unter der Annahme, dass es sich um lineare Zusammenhänge handelt, kann die aus der Unsicherheit der jeweiligen Eingangsvariable resultierende Unsicherheit des U-Wertes mit Hilfe der jeweiligen partiellen Ableitung²⁶ ermittelt werden:

$$(16) \quad \Delta U_{eff}(\Delta U_{or}) \approx \frac{\partial U_{eff}}{\partial U_{or}} \cdot \Delta U_{or} \quad [W/(m^2K)]$$

$$= \left(1 + f_{ins} \cdot \left(\frac{1}{\left(1 + \frac{d_{ins}}{\lambda_{ins,eff}} U_{or} \right)^2} - 1 \right) \right) \cdot \Delta U_{or}$$

mit ΔU_{or}	Unsicherheit des U-Wertes der originalen (nicht gedämmten) Konstruktion	$[W/(m^2K)]$
$\Delta U_{eff}(\Delta U_{or})$	resultierende Unsicherheit des Gesamt-U-Wertes	$[W/(m^2K)]$

$$(17) \quad \Delta U_{eff}(\Delta d_{ins}) \approx \frac{\partial U_{eff}}{\partial d_{ins}} \cdot \Delta d_{ins} \quad [W/(m^2K)]$$

$$= -f_{ins} \cdot \frac{\lambda_{ins,eff}}{\left(\frac{\lambda_{ins,eff}}{U_{or}} + d_{ins} \right)^2} \cdot \Delta d_{ins}$$

mit Δd_{ins}	Unsicherheit der Dämmstoffstärke	$[m]$
$\Delta U_{eff}(\Delta d_{ins})$	resultierende Unsicherheit des Gesamt-U-Wertes	$[W/(m^2K)]$

²⁶ Hilfsmittel für die Ableitungen: <https://www.ableitungsrechner.net/> (vielen Dank für dieses hilfreiche Tool!)

$$(18) \quad \Delta U_{eff}(\Delta \lambda_{ins,eff}) \approx \frac{\partial U_{eff}}{\partial \lambda_{ins,eff}} \cdot \Delta \lambda_{ins,eff} \quad [W/(m^2K)]$$

$$= f_{ins} \cdot \frac{d_{ins}}{\left(\frac{\lambda_{ins,eff}}{U_{or}} + d_{ins}\right)^2} \cdot \Delta \lambda_{ins,eff}$$

mit $\Delta \lambda_{ins,eff}$ Unsicherheit der effektiven Wärmeleitfähigkeit $[W/(m \cdot K)]$

$\Delta U_{eff}(\Delta \lambda_{ins,eff})$ resultierende Unsicherheit des Gesamt-U-Wertes $[W/(m^2K)]$

$$(19) \quad \Delta U_{eff}(\Delta f_{ins}) \approx \frac{\partial U_{eff}}{\partial f_{ins}} \cdot \Delta f_{ins} \quad [W/(m^2K)]$$

$$= \left(-U_{or} + \frac{1}{\frac{1}{U_{or}} + \frac{d_{ins}}{\lambda_{ins,eff}}} \right) \cdot \Delta f_{ins}$$

mit Δf_{ins} Unsicherheit des Flächenanteils der Dämmung $[-]$

$\Delta U_{eff}(\Delta f_{ins})$ resultierende Unsicherheit des Gesamt-U-Wertes $[W/(m^2K)]$

C.5.4 Beispiele für die Unsicherheit des U-Wertes bei unterschiedlichen Modernisierungszuständen

Zur Illustration wird im Folgenden die Abhängigkeit der gemäß Gleichung (15) ermittelten Unsicherheit des U-Wertes vom Wärmeschutzniveau dargestellt. Dabei werden unterschiedliche Ausgangs-U-Werte betrachtet und sowohl Dämmstärken als auch der Flächenanteil der Dämmung variiert.²⁷ Es handelt sich um eine Betrachtung der ungestörten Bauteile ohne Bauteilanschlüsse – die durch Wärmebrücken bedingten Unsicherheiten sind hier nicht enthalten.

Variation der Dämmstoffstärke

Wie sich die Unsicherheit des U-Wertes bei Erhöhung der Dämmstärke verändert, zeigen die folgenden beiden Diagramme für zwei unterschiedliche Ausgangs-U-Werte (Bild 69). Dabei wird eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ angesetzt und angenommen, dass 100% der Bauteilfläche gedämmt ist.

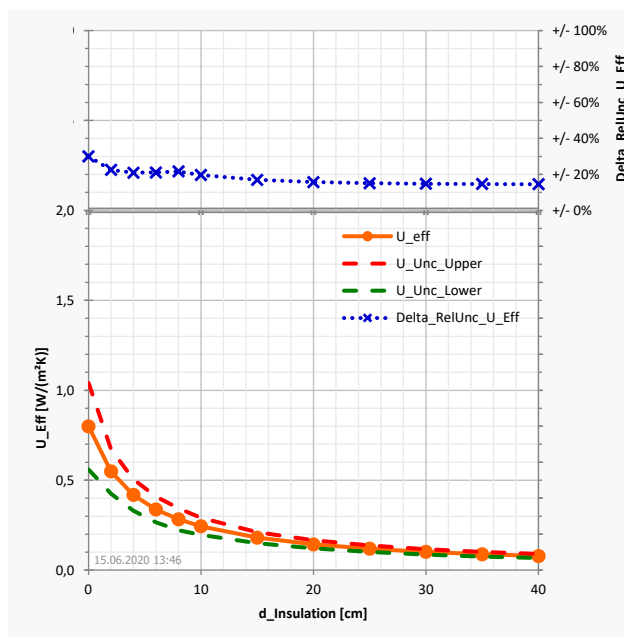
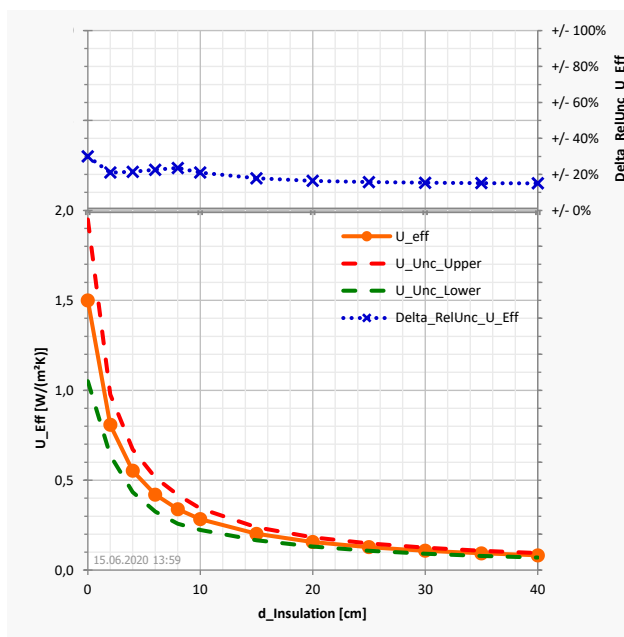
Die relative Unsicherheit des U-Wertes des ungedämmten Bauteils von 30% wird durch die Dämmung auf Werte um 20% reduziert (oberer Teil der Diagramme). Die absolute Unsicherheit geht dabei natürlich viel stärker zurück: von $\pm 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bei einem U-Wert von $0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ auf $\pm 0,02 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bei einem U-Wert um die $0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Interessant ist, dass bei den hohen Dämmstoffstärken die Unsicherheit des U-Wertes zu 90% durch die Unsicherheit des Lambda-Wertes (hier mit 15% angesetzt) bestimmt wird. Die für die Ermittlung von großen Dämmstoffstärken angesetzte Unsicherheit von $\pm 2 \text{ cm}$ (bei "InspectionOnSite") wirkt sich also nur geringfügig aus.

Bild 69: Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation des Dämmstoffstärke $d_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Baujahre des Gebäude und davon abhängigen Variablen U_{Original} / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ / "InspectionOnSite"

Baujahr Gebäude: 1925 / $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $f_{\text{Insulation}} = 100\%$

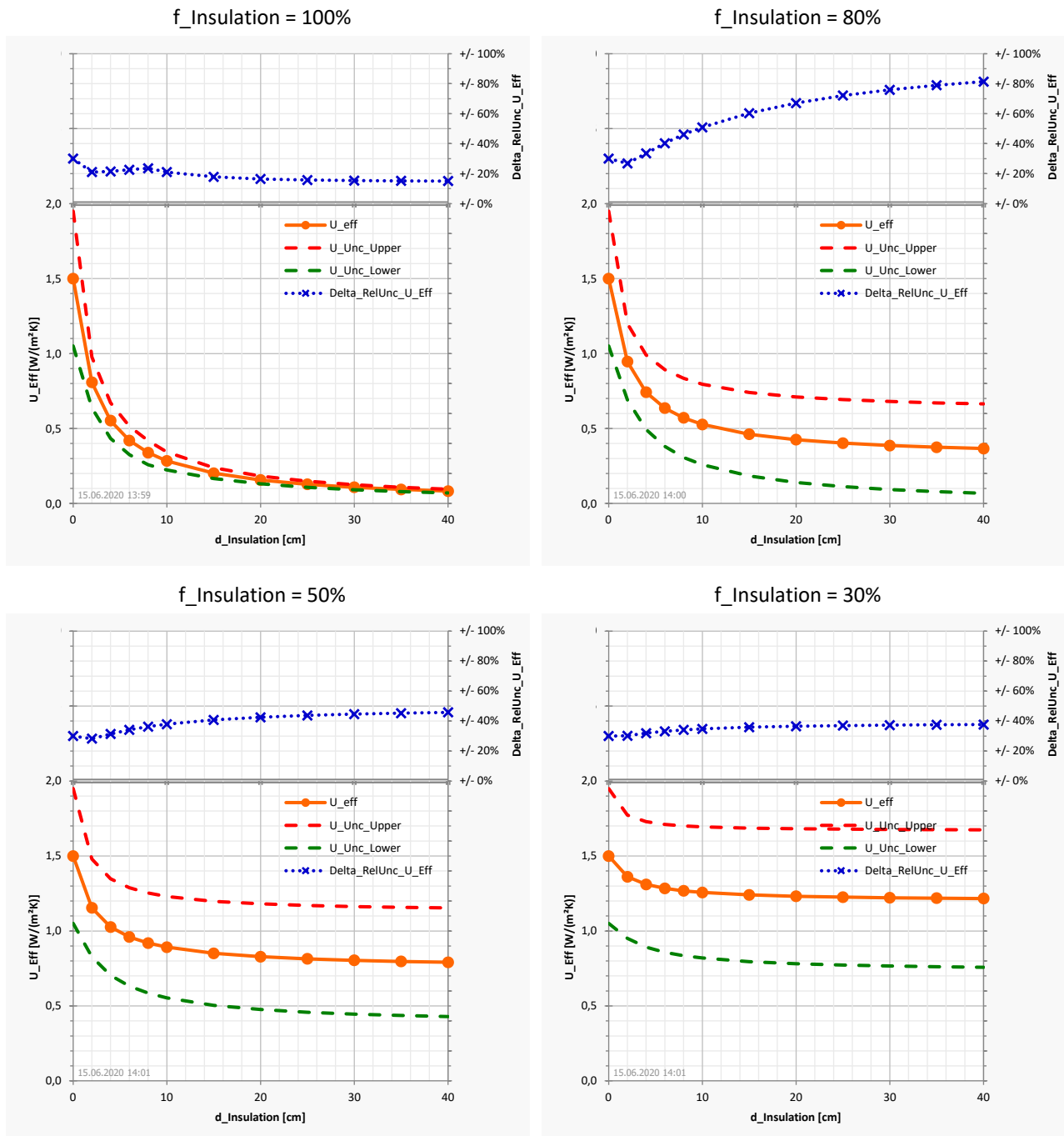
Baujahr Gebäude: 1980 / $U_{\text{Original}} = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $f_{\text{Insulation}} = 100\%$



²⁷ Eine Excel-Mappe mit dem Rechengang und den hier dargestellten Beispielen findet sich auf: <https://www.iwu.de/forschung/energie/2017/mobasy/>

Bild 70 zeigt im Vergleich zu der oben dargestellten vollständigen Dämmung die Abhängigkeit der Unsicherheit des U-Wertes von der Dämmstoffstärke bei Teilmodernisierung. Deutlich wird der extrem andere Verlauf insbesondere für den Flächenanteil von 80%. Entsprechend dem Modellansatz ist dies ein Fall, bei dem (für "InspectionOnSite") der Flächenanteil auf 0,8 geschätzt wurde und dabei eine Unsicherheit von $\pm 0,2$ besteht. Der resultierende U-Wert von ca. $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ hat hier also eine Unsicherheit von $\pm 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$!

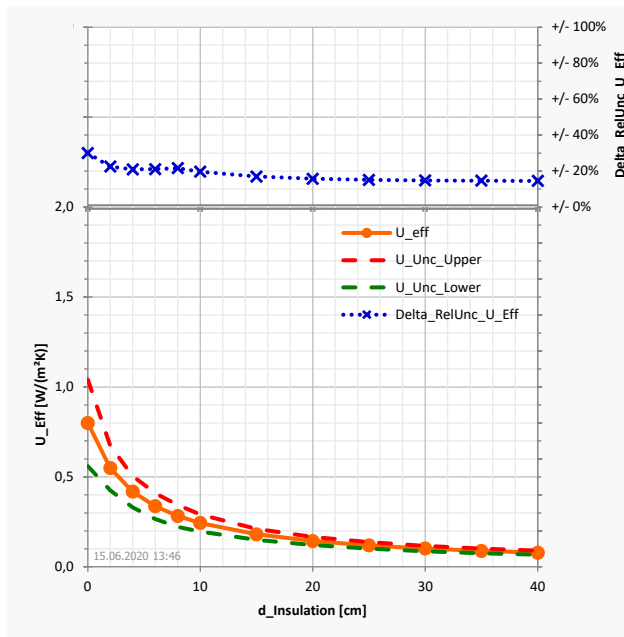
Bild 70: Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation der Dämmstoffstärke $d_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Flächenanteile der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1925 / $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ / "InspectionOnSite"



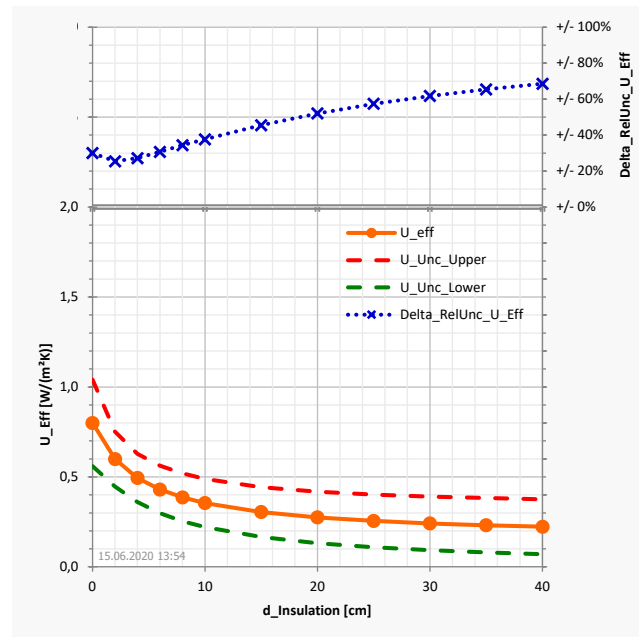
In Bild 71 finden sich noch einmal die gleichen Diagramme, jedoch mit einem auf $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ reduzierten Ausgangs-U-Wert. Die relative Unsicherheit zeigt einen ähnlichen Verlauf.

Bild 71: Unsicherheit des effektiven U-Wertes bei Variation der Dämmstoffstärke $d_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Flächenanteile der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1980 / $U_{\text{Original}} = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effective}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ / "InspectionOnSite"

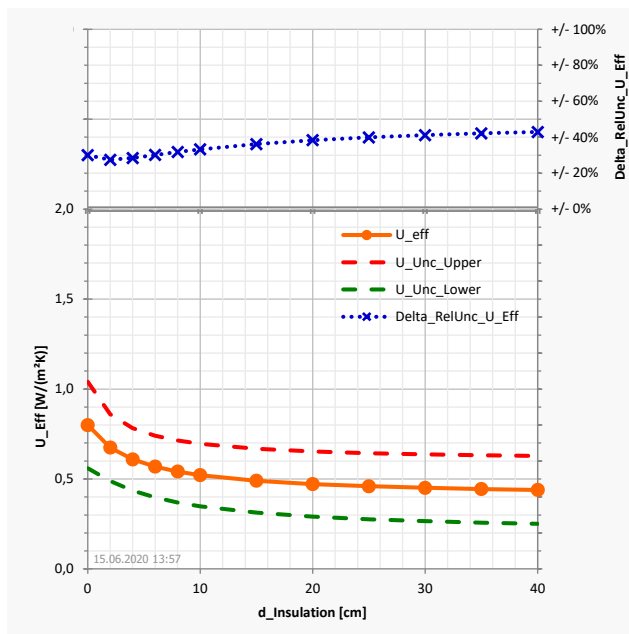
$f_{\text{Insulation}} = 100\%$



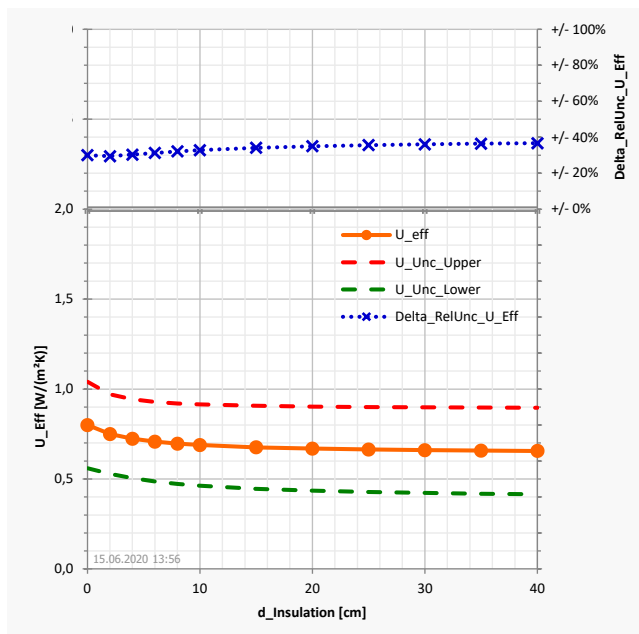
$f_{\text{Insulation}} = 80\%$



$f_{\text{Insulation}} = 50\%$



$f_{\text{Insulation}} = 20\%$



Variation des gedämmten Flächenanteils

Bild 72 zeigt die Abhängigkeit vom Flächenanteil der Dämmung für unterschiedliche Dämmstoffstärken. Bei der gegebenen absoluten Unsicherheit von $\pm 20\%$ für den Flächenanteil bleibt bei größeren Dämmstärken mit zunehmendem Flächenanteil die absolute Unsicherheit des effektiven U-Wertes bis zu einem Flächenanteil von ca. 80% fast konstant gleich. Bei einem Ausgangs-U-Wert von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ist dieser Effekt nicht so stark ausgeprägt (Bild 73).

Bild 72: Unsicherheit des effektiven U-Wertes der Außenwand bei Variation des Flächenanteils der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Dämmstärken $d_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1925 / $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ / Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = \pm 20\%$ / "InspectionOnSite"

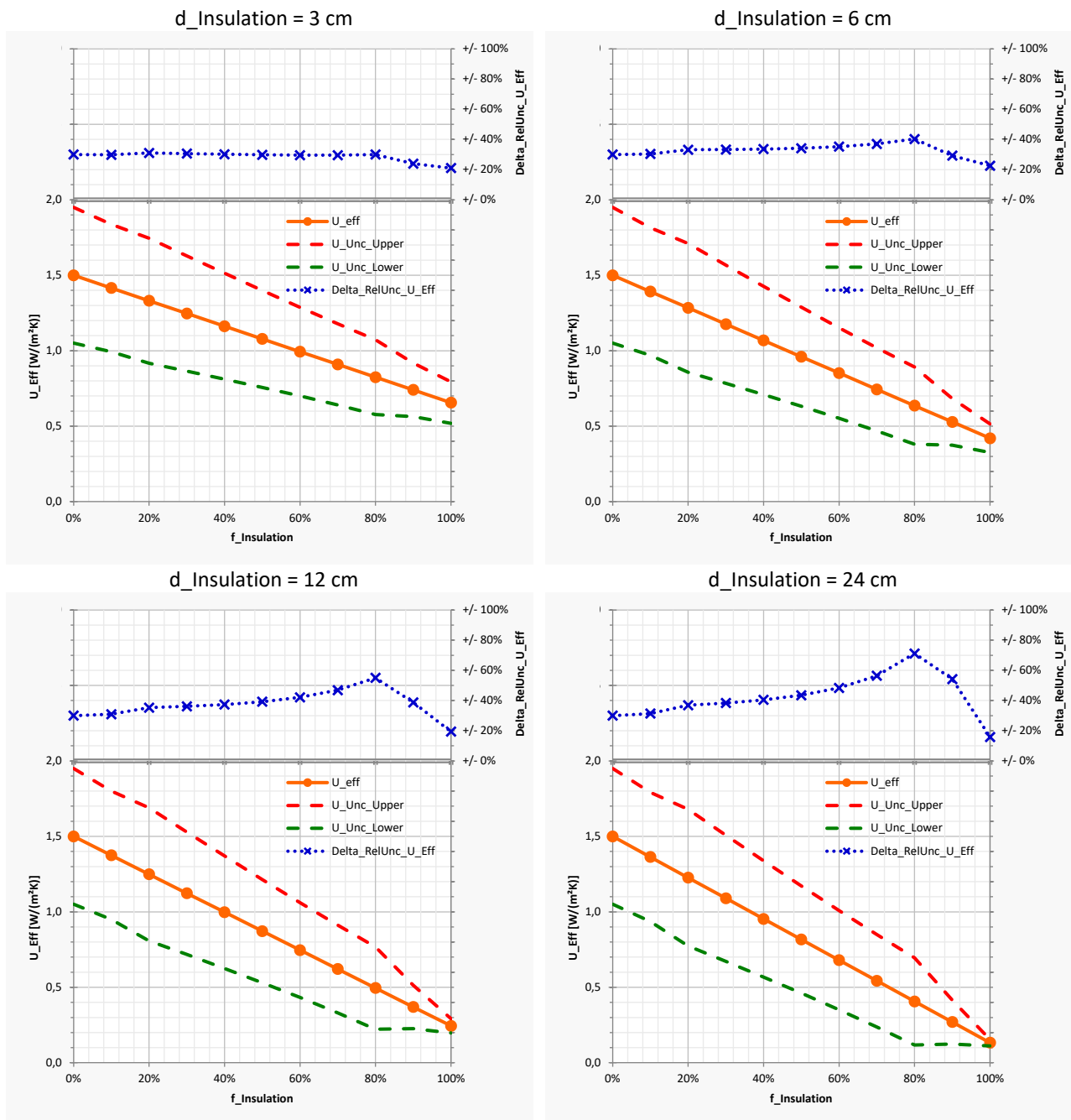
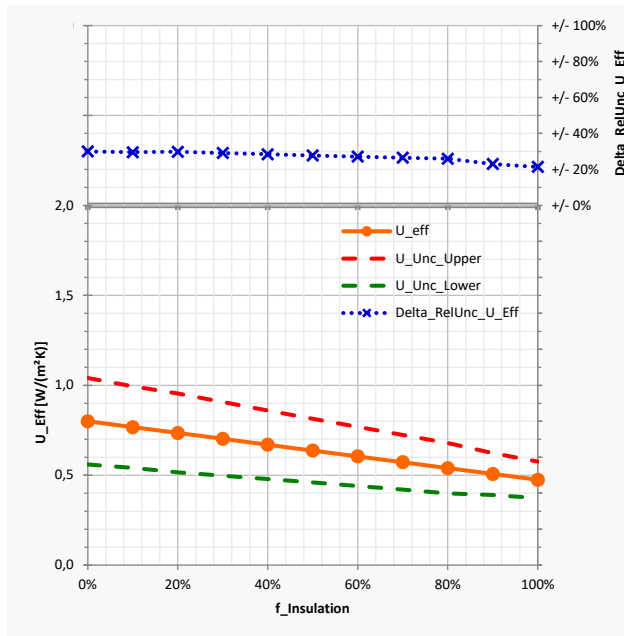
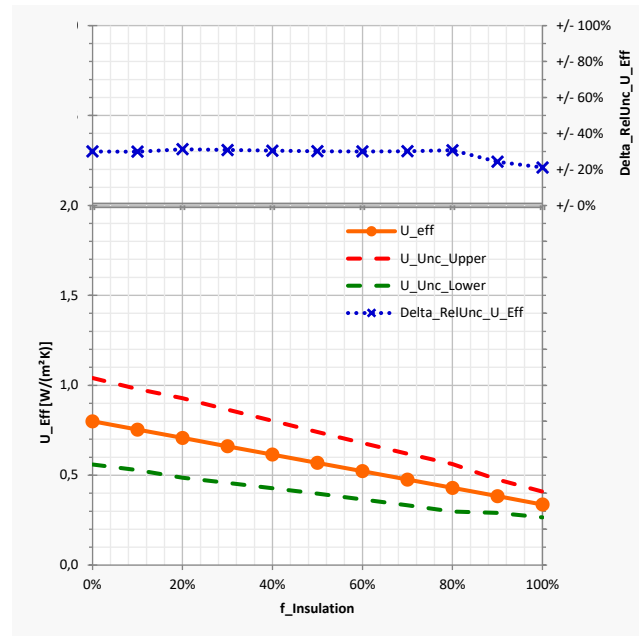


Bild 73: Unsicherheit des effektiven U-Wertes der Außenwand bei Variation des Flächenanteils der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Dämmstärken $d_{\text{Insulation}}$; Baujahr Gebäude: 1980 / $U_{\text{Original}} = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effektive}} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ / Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = \pm 20\%$ / "InspectionOnSite"

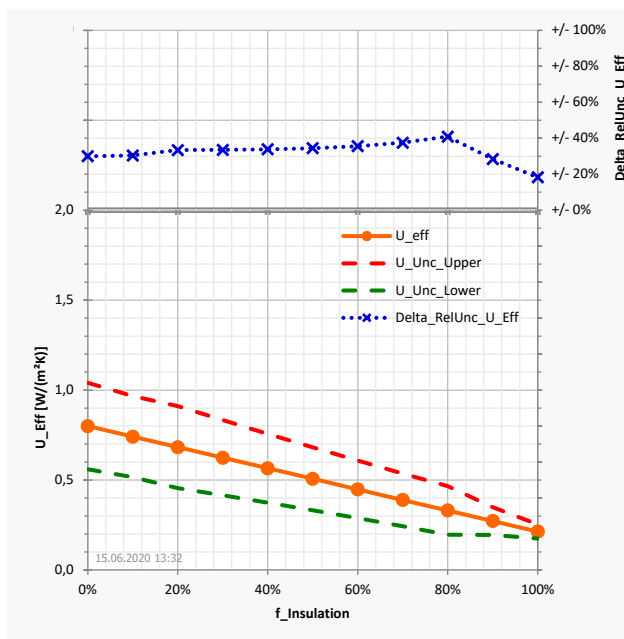
$d_{\text{Insulation}} = 3 \text{ cm}$



$d_{\text{Insulation}} = 6 \text{ cm}$



$d_{\text{Insulation}} = 12 \text{ cm}$



$d_{\text{Insulation}} = 24 \text{ cm}$

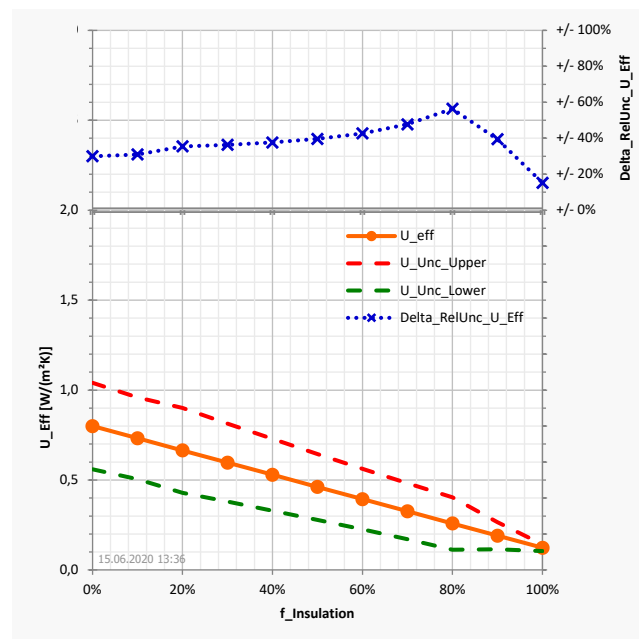
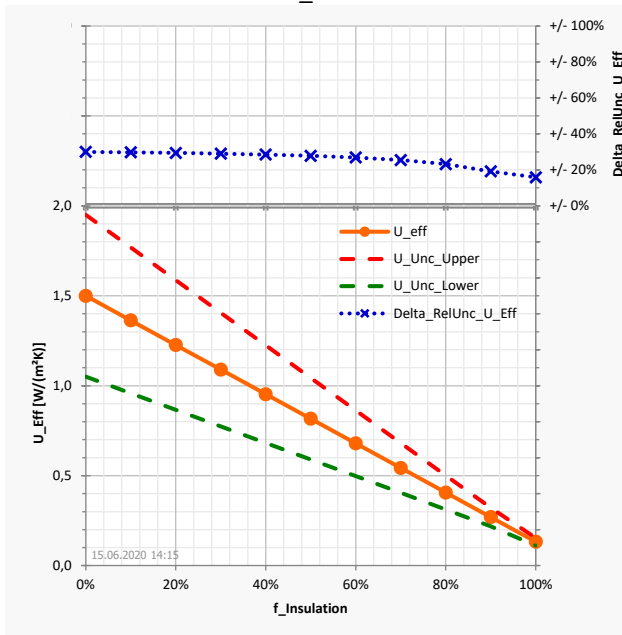


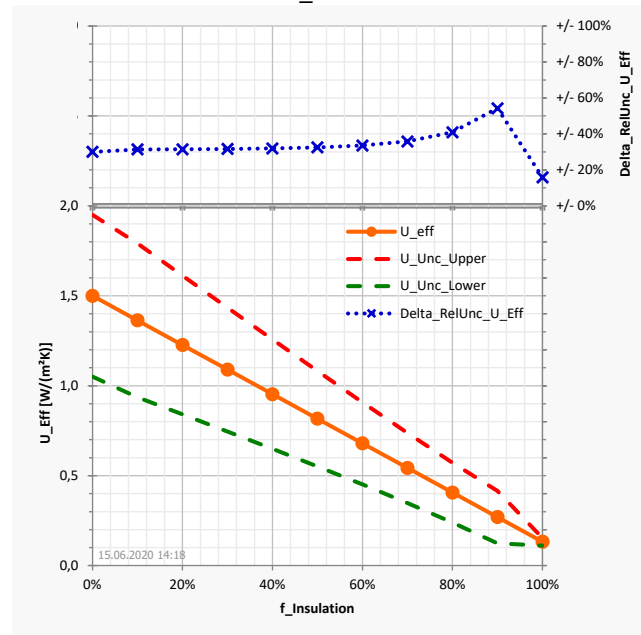
Bild 74 zeigt noch einmal für eine Dämmstärke von 24 cm und einem Ausgangs-U-Wert von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, wie der in Bild 72 dargestellte Effekt von der Unsicherheit der Bestimmung des Flächenanteils abhängt. Für eine absolute Unsicherheit des Flächenanteils von über 20% kann die relative Unsicherheit des effektiven U-Wertes bis zu 80% betragen.

Bild 74: Unsicherheit des effektiven U-Wertes der Außenwand bei Variation des Flächenanteils der Dämmung $f_{\text{Insulation}}$ für unterschiedliche Unsicherheiten bei der Bestimmung des Flächenanteils $\Delta f_{\text{Insulation_Uncertainty}}$; Baujahr Gebäude: 1925 / $U_{\text{Original}} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ / $\lambda_{\text{Insulation_Effective}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

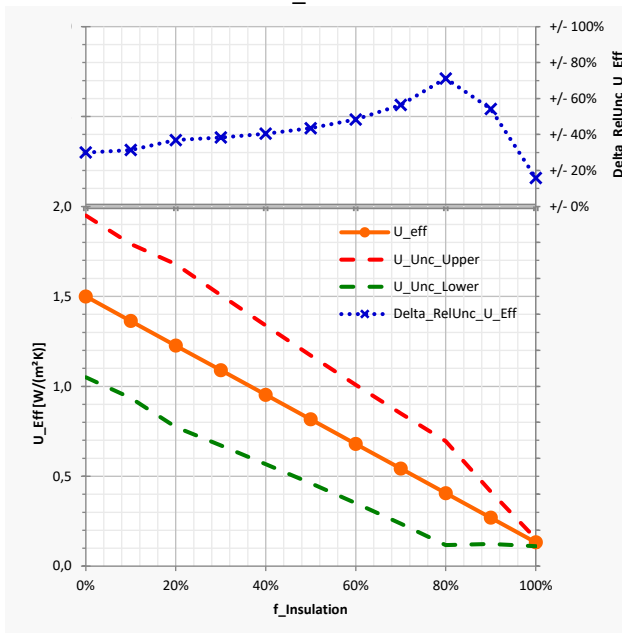
$d_{\text{Insulation}} = 24 \text{ cm}$
Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = 0\%$



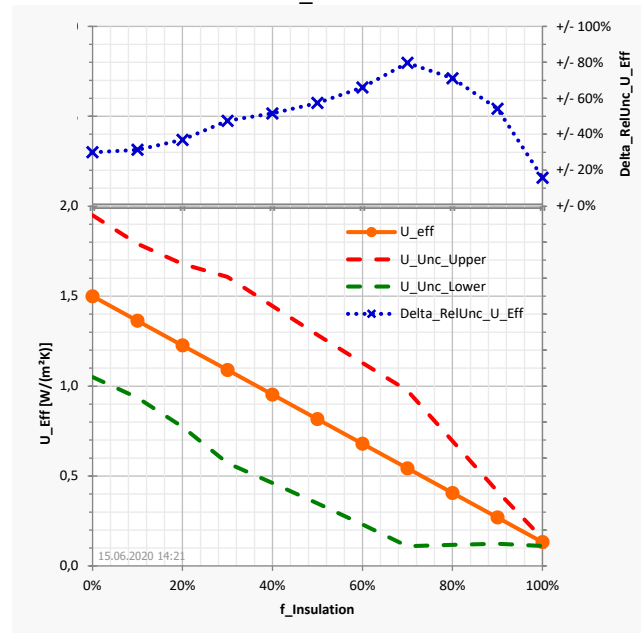
$d_{\text{Insulation}} = 24 \text{ cm}$
Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = 10\%$



$d_{\text{Insulation}} = 24 \text{ cm}$
Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = 20\%$



$d_{\text{Insulation}} = 24 \text{ cm}$
Unsicherheit $f_{\text{Insulation}} = 30\%$



C.6 Pauschalansatz für Fenstertypen

C.6.1 Ergebnisse der Datenerhebung im Wohngebäudebestand 2016

Eine Quelle für den durchschnittlichen bzw. typischen energetischen Zustand von Fenstern ist die 2016 im Wohngebäudebestand durchgeführte Stichprobenerhebung [Cischinsky / Diefenbach 2018]. Im zugehörigen Bericht findet sich eine Reihe von Auswertungen, die im Folgenden dargestellt werden sollen.

Zu beachten ist, dass bei der Erhebung gemäß [Cischinsky / Diefenbach 2018] nur die Anzahl der Scheiben bei den Gebäudeeigentümern abgefragt wurde, weil die Art der Verglasung für den Laien schwer zu erkennen ist. Die Zuordnung zu Fenstern ohne und mit Wärmeschutzverglasung kann daher nur über das Einbaujahr erfolgen, daher auch die Aufteilung bis 1994 und ab 1995 – dies ist in etwa der Punkt des (recht schnellen) Übergangs der Produktion von einfachen Isolierverglasungen hin zu Wärmeschutzverglasungen (siehe auch folgender Abschnitt).

Tab. 31: Häufigkeiten von Fenster-Verglasungsarten / Daten aus der Wohngebäudeerhebung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018]

Häufigkeiten von Fenster-Verglasungsarten						
Datenerhebung 2016						
Einbaujahr	Spezifi- zierung	Anzahl Scheiben			Gesamt	
		1	2	3		
Fenster-Verglasungsarten im Wohngebäudebestand						
alle Wohngebäude						
... 1994		3,3% +/- 0,5 %	35,2% +/- 1,0 %	1,3% +/- 0,2 %	(100%)	
1995 ...		1,1% +/- 0,2 %	50,2% +/- 1,0 %	8,9% +/- 0,5 %		
Ein- und Zweifamilienhäu- ser						
... 1994	EZFH	3,3% +/- 0,6 %	35,4% +/- 1,2 %	1,4% +/- 0,2 %	(100%)	
1995 ...	EZFH	1,2% +/- 0,3 %	49,2% +/- 1,1 %	9,5% +/- 0,6 %		
Mehrfamilienhäuser						
... 1994	MFH	3,2% +/- 0,6 %	34,0% +/- 1,6 %	1,0% +/- 0,4 %	(100%)	
1995 ...	MFH	0,9% +/- 0,2 %	55,3% +/- 1,7 %	5,5% +/- 0,7 %		
Fenster-Verglasungsarten bei Modernisierung und Neubau						
Fenstererneuerung ab 2010 in Altbauten (Bau- jahr bis 1978)						
2010 ... 2016	Altbau	0,5% +/- 0,3 %	72,3% +/- 2,8 %	27,2% +/- 2,8 %	(100%)	
2010 ... 2012	Altbau	1,1% +/- 0,7 %	76,5% +/- 3,7 %	22,4% +/- 3,7 %	(100%)	
2013 ... 2016	Altbau	0,0%	65,1% +/- 4,4 %	34,9% +/- 4,4 %	(100%)	
Einbau bei ab 2010 errich- teten Neubauten						
2010 ... 2016	Neubau	0,1% +/- 0,1 %	23,0% +/- 3,1 %	76,9% +/- 3,1 %	(100%)	

C.6.2 Statistik der Bundesverbände der Fenster- und Glashersteller

Vom Verband Fenster + Fassade / Bundesverband Flachglas e.V. wird eine detaillierte Statistik für die Produktion von Fenstern geführt, die zuletzt 2017 aktualisiert und veröffentlicht wurde [VFF / BF 2017]. Darin enthalten sind Jahressummen der Produktion von Fenstertypen differenziert nach Verglasungsart und Rahmenbauart.

Die in [VFF / BF 2017] jahresbezogen angegebene Werte wurden im Rahmen der vorliegenden Studie in Baualtersklassen zusammengeführt. Tab. 32 zeigt die Werte für Verglasungen, Tab. 33 die Werte für Fenster, differenziert nach Rahmentyp. Die Charakterisierung von Verglasungen und Rahmen wird durch Angabe der zugehörigen U-Werte ergänzt.

Tab. 32: Produktionszahlen von Verglasungen differenziert nach Verglasungstyp von 1971 bis 2016 [VFF / BF 2017]

eigene Auswertungen: produzierte Fläche zusammengefasst nach den TABULA-Baualtersklassen der deutschen Wohngebäudetypologie / U_g -Wert bezogen auf die Fläche der Verglasung

Verglasungsart	U-Wert der Verglasung U_g [W/m ² K]		produzierte Verglasungsfläche [Mio. m ²]							
	Angabe der Quelle	verwendet	Zeitraum der Produktion							
			1971 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016	Gesamt
Einfachglas	5,8	5,8	39,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,8
Kasten-/Verbundfenster	2,8	2,8	97,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,0
Isolierglas 4/12/4 (unbeschichtet)	2,8	2,8	1,8	89,8	206,7	31,5	0,7	0,0	0,0	330,5
2-fach Wärmedämmglas 1. Generation	1,4	1,4	0,0	0,0	22,9	110,1	1,0	0,0	0,0	134,0
2-fach Wärmedämmglas 2. Generation	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	41,1	60,9	0,0	0,0	102,0
2-fach Wärmedämmglas 3. Generation	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	45,7	6,7	99,8
3-fach Wärmedämmglas	≤ 0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	47,1	9,6	65,8

Datenquelle: [VFF / BF 2017] / eigene Auswertungen

Tab. 33: Produktionszahlen von Fenstern differenziert nach Rahmenbauart von 1971 bis 2016 gemäß [VFF / BF 2017]

eigene Auswertungen: produzierte Fläche zusammengefasst nach den TABULA-Baualtersklassen der deutschen Wohngebäudetypologie / angegebene U_f -Werte bezogen auf die Fläche des Rahmens

Fenster-/Rahmen-Bauart		U-Wert des Rahmens U _f [W/m²K]		produzierte Fenster-Einheiten à 1,69 m² [Mio.]							
		Angabe der Quelle	verwendet	Zeitraum der Produktion							
				1971 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016	Gesamt
Holz											
Holz-Einfachfenster	(Hartholz)	1,9	1,9	16,02	27,35	52,08	22,44	7,53	0,21	0	125,6
Holz-Einfachfenster	(Weichholz)	1,5	1,5	0	3,40	18,82	17,66	12,16	9,97	1,55	63,6
Holz-Kastenfenster	(Hartholz)	1,4	1,4	37,38	0,35	0	0	0	0,24	0,21	38,2
Holz-Einfachfenster	(Typ 1)	1,1	1,1	0	0	0	0	0,31	1,24	0,21	1,8
Holz-Einfachfenster	(Typ 2)	≤ 1,0	0,9	0	0	0	0	0,11	0,74	0,13	1,0
Kunststoff											
Kunststoff-Fenster	2-kammrig	2,2	2,2	19,30	27,20	19,48	0	0	0	0	66,0
Kunststoff-Fenster	3-kammrig	1,8	1,8	0	0,50	55,30	41,69	1,53	0	0	99,0
Kunststoff-Fenster	mehr-kammrig (Typ 1)	1,4	1,4	0	0	3,22	38,81	53,13	22,81	3,52	121,5
Kunststoff-Fenster	mehr-kammrig (Typ 2)	1,1	1,1	0	0	0	0	0,86	17,99	3,76	22,6
Kunststoff-Fenster	mehr-kammrig (Typ 3)	≤ 1,0	0,9	0	0	0	0	0,27	3,91	0,72	4,9
Aluminium											
Alu-Fenster	Rahmenmaterialgruppe 3	7	7	44,40	4,50	0	0	0	0	0	48,9
Alu-Fenster	Rahmenmaterialgruppe 2.3	5	5	0	12,44	2,05	0	0	0	0	14,5
Alu-Fenster	Rahmenmaterialgruppe 2.2	3,8	3,8	0	0,96	5,05	0	0	0	0	6,0
Alu-Fenster	Rahmenmaterialgruppe 2.1	3	3	0	0	33,70	24,59	2,31	0	0	60,6
Alu-Fenster	Rahmenmaterialgruppe 1	2,2	2,2	0	0	0	4,12	7,74	0	0	11,9
Alu-Fenster	heute (Typ 1)	1,9	1,9	0	0	0	0	8,82	4,20	0	13,0
Alu-Fenster	heute (Typ 2)	1,4	1,4	0	0	0	0	0,37	8,33	2,10	10,8
Alu-Fenster	heute (Typ 3)	1,1	1,1	0	0	0	0	0,15	1,73	0,38	2,2
Alu-Fenster	heute (Typ 4)	≤ 1,0	0,9	0	0	0	0	0,02	0,14	0,03	0,2
Holz-Metall											
Holz-Metall-Fenster	(Typ 1)	1,7	1,7	0	0	4,40	5,40	4,94	0,68	0	15,4
Holz-Metall-Fenster	(Typ 2)	1,3	1,3	0	0	0	0	0,24	3,81	0,79	4,8
Holz-Metall-Fenster	(Typ 3)	1,1	1,1	0	0	0	0	0,10	1,17	0,29	1,6
Holz-Metall-Fenster	(Typ 4)	≤ 1,0	0,9	0	0	0	0	0,02	0,55	0,12	0,7

Datenquelle: [VFF / BF 2017] / eigene Auswertungen

C.6.3 Ermittlung pauschaler Fenster-U-Werte

Aus den im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Produktionszahlen, den U_g - und U_f -Werten, zusätzlichen Informationen zum längenbezogenen Wärmeverlustkoeffizient des Randverbunds und Annahmen zu den Fensterabmessungen können je Baualtersklasse die mittleren U-Werte der Fenster differenziert nach Bauart von Verglasung und Rahmen ermittelt werden. Das Ergebnis zeigt die folgende Tabelle:

Tab. 34: Aus den Statistiken gemäß [VFF / BF 2017] berechneter mittlerer Fenster-U-Wert nach Fens-
tertyp und Produktionszeitraum für eine mittlere Fenstergröße (Zuordnung der Werte zu den
TABULA-Baualtersklassen der deutschen Wohngebäudetypologie)

Anzahl Scheibe n	Wärme- schutzver- glasung	Rahmenma- terial	mittlerer Fenster-U-Wert U_w [W/m²K]						
			Zeitraum der Produktion						
			1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
*	*	*	3,68	3,00	2,69	1,88	1,47	1,18	1,13
1	*	*	5,15	4,86	4,65	4,57	4,49	4,40	4,38
		Holz	4,47	4,56	4,54	4,52	4,50	4,43	4,43
		Kunststoff	4,67	4,67	4,57	4,49	4,42	4,37	4,36
		Alu/Stahl	6,18	5,69	4,99	4,89	4,65	4,45	4,41
		Holz-Metall	-	-	4,52	4,52	4,51	4,38	4,36
2	*	*	3,09	3,00	2,69	1,88	1,49	1,32	1,29
		Holz	2,41	2,70	2,59	1,83	1,51	1,35	1,33
		Kunststoff	2,61	2,81	2,61	1,80	1,43	1,29	1,27
		Alu/Stahl	4,12	3,82	3,03	2,20	1,66	1,38	1,31
		Holz-Metall	-	-	2,56	1,83	1,51	1,30	1,27
	Nein	*	3,09	3,00	2,79	2,71	2,61	-	-
		Holz	2,41	2,70	2,68	2,66	2,63	-	-
		Kunststoff	2,61	2,81	2,71	2,62	2,55	-	-
		Alu/Stahl	4,12	3,82	3,12	3,02	2,78	-	-
		Holz-Metall	-	-	2,65	2,65	2,63	-	-
	Ja	*	-	-	1,82	1,71	1,49	1,32	1,29
		Holz	-	-	1,72	1,66	1,50	1,35	1,33
		Kunststoff	-	-	1,75	1,63	1,42	1,29	1,27
		Alu/Stahl	-	-	2,16	2,03	1,65	1,38	1,31
		Holz-Metall	-	-	1,69	1,65	1,51	1,30	1,27
3	*	*	2,34	2,24	2,03	1,27	1,17	1,04	1,01
		Holz	1,66	1,94	1,93	1,22	1,18	1,08	1,06
		Kunststoff	1,86	2,05	1,96	1,18	1,11	1,02	1,00
		Alu/Stahl	3,36	3,07	2,37	1,58	1,34	1,10	1,04
		Holz-Metall	-	-	1,90	1,21	1,19	1,03	1,00
	Nein	*	2,34	2,24	2,03	1,95	1,86	1,73	1,70
		Holz	1,66	1,94	1,93	1,91	1,87	1,76	1,75
		Kunststoff	1,86	2,05	1,96	1,87	1,80	1,70	1,68
		Alu/Stahl	3,36	3,07	2,37	2,27	2,02	1,79	1,73
		Holz-Metall	-	-	1,90	1,90	1,88	1,71	1,68
	Ja	*	-	-	1,34	1,27	1,17	1,04	1,01
		Holz	-	-	1,24	1,22	1,18	1,08	1,06
		Kunststoff	-	-	1,27	1,18	1,11	1,02	1,00
		Alu/Stahl	-	-	1,68	1,58	1,34	1,10	1,04
		Holz-Metall	-	-	1,21	1,21	1,19	1,03	1,00

* = keine Angaben / unbekannt

Vergleich mit den Ergebnissen der Eigentümerbefragung 2016

Die aus [VFF / BF 2017] abgeleiteten und in Tab. 34 dargestellten U-Werte und die zu Grunde liegenden Häufigkeiten sollen summarisch noch einmal mit den Daten der Eigentümerbefragung 2016 verglichen werden. In der folgenden Tabelle sind die vergleichbaren Zeiträume gegenübergestellt.

Tab. 35: Vergleich der Daten aus [VFF / BF 2017] und [Cischinsky / Diefenbach 2018]
(eigene Auswertungen der angegebenen Datenquellen)

	Einbaujahr	Art der Maßnahme	Anteil U-Wert			Pauschalansatz U-Wert [W/(m²K)]			Gesamt
			Anzahl Scheiben			Anzahl Scheiben			
			1	2	3	1	2	3	
Statistik Fenster- und Glaserhersteller 2017 [VFF / BF 2017]			eigene Auswertung der Quelle			gemäß Zusatzangaben in der Quelle			
	alle*	alle	5%	88%	8%	5,15	2,32	1,05	2,35
	... 1994*	alle	9%	91%	0%	5,15	2,85	1,05	3,05
	1995 ...	alle	0%	84%	16%	5,15	1,67	1,05	1,57
	2010 ... 2015	alle	0%	49%	51%	4,40	1,32	1,04	1,18
	2016 ...	alle	0%	41%	59%	4,38	1,29	1,01	1,13
Eigentümergefragung 2016 [Cischinsky / Diefenbach 2018]			Angaben in der Quelle			(übernommen von oben)			
	alle	alle	4%	85%	10%	5,15	2,32	1,05	2,26
	... 1994	alle	8%	88%	3%	5,15	2,85	1,05	2,98
	1995 ...	alle	2%	83%	15%	5,15	1,67	1,05	1,64
	2010 ... 2015	Altbau Mod.	0%	71%	29%	4,40	1,32	1,04	1,24
	2016 ...	Altbau Mod.	0%	65%	35%	4,38	1,29	1,01	1,19
	2010 ...	Neubau	0%	23%	77%	4,40	1,32	1,04	1,10

*) ab 1971

Insgesamt ist die Übereinstimmung der Häufigkeiten von Verglasungstypen recht gut. Die sich daraus ergebenden U-Werte weichen nur im Bereich der zweiten Nachkommastelle voneinander ab.

Bei dem Vergleich dieser auf sehr unterschiedlichen Quellen basierenden Daten ist zu beachten, dass die Herstellerstatistik keine Abgänge erfassen kann – in der frühen Phase der Statistik eingebaute Fenster können inzwischen modernisiert worden sein.

Für ab 2010 eingebaute Fenster wäre auf Basis der Eigentümerbefragung noch eine Differenzierung zwischen Neubau und Altbau modernisierung möglich. In den Prozentsätzen sind die Unterschiede zwar erheblich, bei den (für die MOBASY-Tabelle auf eine Nachkommastelle gerundeten) U-Werten liegt die Differenz jedoch nur bei 0,1 so dass auf eine zwischen Neubau und Modernisierung unterscheidende Verwendung pauschaler U-Werte verzichtet wird.²⁸

²⁸ Dies betrifft ja ohnehin nur die vermutlich seltenen Fälle, bei denen für einen in den letzten Jahren durchgeführten Fenstereinbau die Anzahl der Scheiben nicht bekannt ist.

C.6.4 Unsicherheit der pauschalen Fenster-U-Werte

In der verwendeten Statistik der Fenster- und Glashersteller [VFF / BF 2017] finden sich keine Informationen zur Streuung der U-Werte der einzelnen Verglasungs- und Rahmentypen. Da für eine gegebene Kombination aus Verglasung und Rahmen der Fenster-U-Wert auch deutlich von der Größe des Fensters abhängt, soll zumindest dieser Effekt in der Unsicherheit berücksichtigt werden. Es werden die in der folgenden Tabelle dargestellten Fensterformate angesetzt, wobei angenommen wird, dass alle drei Fenstergrößen in der Praxis gleich häufig auftreten.

Tab. 36: Ansatz für die drei Fenstergrößen

	Breite Fenster	Höhe Fenster	Rahmen	Breite Ver- glasung	Höhe Ver- glasung	Länge Randver- bund	Fläche Fenster	Fläche Ver- glasung	Ver- glasung- anteil
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	
kleines Fenster	0,70	0,70	0,12	0,47	0,47	1,88	0,49	0,22	45%
mittleres Fenster	1,23	1,48	0,12	1,00	1,25	4,50	1,82	1,25	69%
großes Fenster	1,50	2,00	0,12	1,27	1,77	6,08	3,00	2,25	75%

Die Ermittlung der Fenster-U-Werte erfolgt unter Berücksichtigung der sich daraus ergebenden Rahmenanteile und Kantenlängen der Verglasung.²⁹ Tab. 37 und Tab. 38 zeigen die für das großformatige und das kleinformatige Fenster resultierenden Fenster-U-Werte, für die mittlere Fenstergröße finden sich die U-Werte bereits in Tab. 34.

²⁹ Für den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Randverbunds wird entsprechend [Kehl 2000] für Aluminium ein Wert von 0,08 W/(m·K) und für Kunststoff ein Wert von 0,04 W/(m·K) angenommen.

Tab. 37: Großformatige Fenster / mittlerer U-Wert nach Fenstertyp und Produktionszeitraum
(auf der Grundlage der in der Statistik für jeden Verglasungs- und Rahmentyp angegebenen U-Werte)

Anzahl Scheibe n	Wärme- schutzver- glasung	Rahmenma- terial	Zeitraum der Produktion						
			1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
*	*	*	3,68	2,96	2,69	1,83	1,41	1,13	1,08
1	*	*	5,28	5,05	4,88	4,82	4,75	4,68	4,66
		Holz	4,73	4,81	4,80	4,78	4,76	4,70	4,70
		Kunststoff	4,90	4,90	4,82	4,75	4,70	4,66	4,65
		Alu/Stahl	6,10	5,71	5,15	5,07	4,88	4,72	4,68
		Holz-Metall	-	-	4,77	4,77	4,76	4,66	4,65
2	*	*	3,03	2,96	2,69	1,83	1,43	1,28	1,25
		Holz	2,49	2,72	2,61	1,79	1,44	1,30	1,29
		Kunststoff	2,65	2,81	2,63	1,76	1,38	1,26	1,24
		Alu/Stahl	3,86	3,62	2,96	2,08	1,57	1,32	1,27
		Holz-Metall	-	-	2,58	1,78	1,45	1,27	1,24
	Nein	*	3,03	2,96	2,79	2,73	2,66	-	-
		Holz	2,49	2,72	2,71	2,69	2,66	-	-
		Kunststoff	2,65	2,81	2,73	2,66	2,60	-	-
		Alu/Stahl	3,86	3,62	3,06	2,98	2,79	-	-
		Holz-Metall	-	-	2,69	2,69	2,67	-	-
	Ja	*	-	-	1,74	1,64	1,43	1,28	1,25
		Holz	-	-	1,66	1,60	1,43	1,30	1,29
		Kunststoff	-	-	1,68	1,57	1,37	1,26	1,24
		Alu/Stahl	-	-	2,01	1,89	1,56	1,32	1,27
		Holz-Metall	-	-	1,64	1,60	1,44	1,27	1,24
3	*	*	2,21	2,14	1,97	1,16	1,08	0,98	0,95
		Holz	1,66	1,90	1,89	1,12	1,09	1,00	0,99
		Kunststoff	1,83	1,98	1,91	1,09	1,03	0,96	0,94
		Alu/Stahl	3,03	2,80	2,24	1,41	1,21	1,02	0,97
		Holz-Metall	-	-	1,86	1,11	1,10	0,97	0,94
	Nein	*	2,21	2,14	1,97	1,91	1,83	1,73	1,70
		Holz	1,66	1,90	1,89	1,87	1,84	1,75	1,74
		Kunststoff	1,83	1,98	1,91	1,84	1,78	1,71	1,69
		Alu/Stahl	3,03	2,80	2,24	2,16	1,96	1,77	1,72
		Holz-Metall	-	-	1,86	1,86	1,85	1,71	1,69
	Ja	*	-	-	1,22	1,16	1,08	0,98	0,95
		Holz	-	-	1,14	1,12	1,09	1,00	0,99
		Kunststoff	-	-	1,16	1,09	1,03	0,96	0,94
		Alu/Stahl	-	-	1,49	1,41	1,21	1,02	0,97
		Holz-Metall	-	-	1,11	1,11	1,10	0,97	0,94

* = keine Angaben / unbekannt

Tab. 38: Kleinformate Fenster / mittlerer U-Wert nach Fenstertyp und Produktionszeitraum
(auf der Grundlage der in der Statistik für jeden Verglasungs- und Rahmentyp angegebenen U-Werte)

Anzahl Scheibe n	Wärme- schutzver- glasung	Rahmenma- terial	Zeitraum der Produktion						
			1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
*	*	*	3,70	3,11	2,67	2,06	1,69	1,36	1,30
1	*	*	4,66	4,16	3,78	3,65	3,50	3,34	3,31
		Holz	3,47	3,63	3,60	3,56	3,52	3,40	3,39
		Kunststoff	3,82	3,82	3,65	3,50	3,39	3,29	3,28
		Alu/Stahl	6,46	5,60	4,37	4,20	3,79	3,44	3,36
		Holz-Metall	-	-	3,55	3,55	3,53	3,31	3,28
2	*	*	3,31	3,11	2,67	2,06	1,70	1,45	1,40
		Holz	2,12	2,58	2,49	1,97	1,72	1,51	1,48
		Kunststoff	2,47	2,77	2,54	1,91	1,59	1,41	1,37
		Alu/Stahl	5,11	4,55	3,26	2,61	1,99	1,55	1,45
		Holz-Metall	-	-	2,44	1,96	1,74	1,43	1,37
	Nein	*	3,31	3,11	2,74	2,60	2,44	-	-
		Holz	2,12	2,58	2,55	2,52	2,46	-	-
		Kunststoff	2,47	2,77	2,60	2,45	2,33	-	-
		Alu/Stahl	5,11	4,55	3,33	3,15	2,73	-	-
		Holz-Metall	-	-	2,50	2,50	2,47	-	-
	Ja	*	-	-	2,10	1,94	1,70	1,45	1,40
		Holz	-	-	1,92	1,86	1,72	1,51	1,48
		Kunststoff	-	-	1,97	1,80	1,59	1,41	1,37
		Alu/Stahl	-	-	2,70	2,50	1,99	1,55	1,45
		Holz-Metall	-	-	1,87	1,85	1,73	1,43	1,37
3	*	*	2,82	2,61	2,24	1,65	1,49	1,27	1,22
		Holz	1,62	2,09	2,06	1,57	1,51	1,33	1,30
		Kunststoff	1,98	2,27	2,11	1,51	1,38	1,23	1,19
		Alu/Stahl	4,61	4,06	2,83	2,21	1,78	1,37	1,27
		Holz-Metall	-	-	2,01	1,56	1,52	1,24	1,19
	Nein	*	2,82	2,61	2,24	2,10	1,94	1,72	1,67
		Holz	1,62	2,09	2,06	2,02	1,96	1,78	1,75
		Kunststoff	1,98	2,27	2,11	1,96	1,83	1,68	1,64
		Alu/Stahl	4,61	4,06	2,83	2,66	2,23	1,82	1,72
		Holz-Metall	-	-	2,01	2,01	1,98	1,70	1,64
	Ja	*	-	-	1,79	1,65	1,49	1,27	1,22
		Holz	-	-	1,61	1,57	1,51	1,33	1,30
		Kunststoff	-	-	1,66	1,51	1,38	1,23	1,19
		Alu/Stahl	-	-	2,38	2,21	1,78	1,37	1,27
		Holz-Metall	-	-	1,56	1,56	1,52	1,24	1,19

* = keine Angaben / unbekannt

Die verbleibende Streuung je Baualtersklasse wird in diesem überwiegend auf statistischen Daten beruhenden Modell somit beeinflusst durch das Vorhandensein und die Art der Wärmeschutzverglasung, durch die Fenstergröße sowie den Typ des Rahmens und des Randverbunds.

Aus den statistischen Daten konnten damit für die verschiedenen Verglasungsarten Häufigkeitsverteilungen abgeleitet und die jeweilige Standardabweichung vereinfacht abgeschätzt werden. In der folgenden Tabelle sind die absoluten und relativen Werte dargestellt.

Tab. 39: Streuung der Fenster-U-Werte differenziert nach Baualtersklasse und nach Anzahl der Fens- terscheiben (Streuung bedingt durch Wärmeschutzverglasungstypen, Fenstergröße, Fenster- rahmen, und Randverbundtyp) / absolute und Standardabweichungen
(eigene Auswertung der Daten aus [VFF / BF 2017])

Anzahl Scheiben	Baualtersklasse Fenster							
	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...	alle
	Streuung der U-Werte [W/(m²K)]							
*	±1,20	±0,58	±0,35	±0,43	±0,17	±0,18	±0,19	±1,25
1	±0,25							±0,25
2	±0,99	±0,58	±0,35	±0,43	±0,15	±0,09	±0,06	±0,56
3					±0,17	±0,15	±0,14	±0,18
	relative Streuung der U-Werte							
*	±33%	±19%	±13%	±23%	±12%	±15%	±17%	±53%
1	±5%							±5%
2	±32%	±19%	±13%	±23%	±10%	±7%	±5%	±24%
3					±15%	±15%	±14%	±17%

Die relative Unsicherheit bewegt sich größtenteils in einem Bereich zwischen 10 und 17%. Nur in zwei Fäl- len ist sie deutlich größer:

- Für Zwei-Scheiben-Verglasung der Baualtersklasse 1969 ... 1978 liegt die Standardabweichung bei 32%, was durch die zu dieser Zeit noch hohen U-Werte von Metallrahmen im Vergleich zu Holz- und Kunst- stoffrahmen bedingt ist.
- Für Zwei-Scheiben-Verglasung der Baualtersklasse 1995 ... 2001 liegt die Standardabweichung bei 23%, bedingt durch das gleichzeitige Vorhandensein von Fenstern mit und ohne Wärmeschutzverglasung.

Eine nach Rahmentypen differenzierte Auswertung der Statistikdaten wurde nicht vorgenommen, da die Unterschiede in den späteren Baualtersklassen nicht mehr groß sind und jeder Rahmentyp in der Praxis ab- hängig vom Hersteller ebenfalls eine Streuung der Rahmen-U-Werte aufweist (was hier nicht abgebildet werden kann).

Aus dieser Auswertung werden die folgenden vereinfachten Anhaltswerte für die Unsicherheit der U-Werte von Fenstern abgeleitet:

Tab. 40: Aus der Fensterstatistik abgeleitete Unsicherheiten pauschaler Fenster-U-Werte

Fall	relative Unsicherheit des pauschalen Fenster-U-Wertes
keine Angaben zur Anzahl der Scheiben <u>und</u> zum Baujahr	50%
Folgende Fälle (1) Keine Angaben zur Baualtersklasse <u>oder</u> zur Anzahl der Scheiben (2) Fenster der Baualtersklasse 1969 ... 1978 mit Zwei-Scheiben-Verglasung ohne Angabe des Rahmentyps (3) Fenster der Baualtersklasse 1995 ... 2001 ohne Information, ob Wärmeschutzverglasung vorliegt	30%
sonst	15%

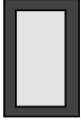
C.6.5 Unsicherheit von Planungswerten / qualifizierten Herstellerangaben

Bei einer Planung für Neubau oder Modernisierung sind die Unsicherheiten natürlich deutlich geringer als bei einer nachträglichen Erhebung nach Augenschein oder einer Befragung von Gebäudeeigentümern. Am besten wäre es natürlich, die Unsicherheiten bei einer konkreten Planung an Hand der Herstellerangaben und zugelassenen Toleranzen sowie der Detailliertheit und Genauigkeit der geometrischen Daten zu ermitteln. Da die Unsicherheit der Planungsdaten jedoch nicht im Fokus des MOBASY-Projekts steht, wird hier nur eine grobe Abschätzung vorgenommen, die im Fall der Fenster nur auf eine Unterscheidung zwischen einer detaillierten Erfassung von Einzelfenstern und einer Berechnung auf der Grundlage eines Standardfensters hinausläuft. Für diese Analyse wird auf die Arbeit von [Kehl 2000] zurückgegriffen, in der für eine Vielzahl von Verglasungs- und Rahmenarten bei Ansatz von vier verschiedenen Fenstergeometrien die U-Werte detailliert berechnet wurden.

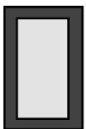
Fenster-U-Werte aus [Kehl 2000]

Mit Hilfe eines zweidimensionalen Wärmebrückenprogramms wurden in [Kehl 2000] U-Werte von Fenstern ermittelt und daraus vereinfachte Pauschalwerte für die Energieberaterpraxis abgeleitet. Die folgenden Tabellen enthalten die detaillierten Ergebnisse, die in [Toolbox 2001] noch einmal in modifizierter Form publiziert wurden. Die hier als Tab. 41 wiedergegebene Basistabelle enthält für eine Reihe von Rahmentypen und Verglasungen Fenster-U-Werte, ermittelt für vier verschiedene Fenstergeometrien (groß, mittel, klein, Sprossenfenster). Diese Werte wurden bei Ansatz eines Aluminium-Randverbunds berechnet. Tab. 43 enthält Korrekturwerte für den Fall, dass Edelstahl oder Kunststoff-Abstandhalter verwendet werden. Weiterhin enthält Tab. 42 auf die Fensterfläche bezogene U-Wert-Zuschläge für unterschiedliche Einbausituationen – diese werden jedoch hier nicht weiter betrachtet, da sie innerhalb der TABULA-Berechnung nicht bei den Fenstern, sondern separat beim pauschalen Wärmebrückenzuschlag berücksichtigt werden.

Tab. 41: Fenster-U-Werte / Basistabelle (Alu-Randverbund / ohne Einbau)
aus: [Toolbox 2001] / nach: [Kehl 2000]

Basistabelle: U-Werte von Fenstern *					Vergleich zur
	große Fenster und Fenstertüren	mittlere Fenster	kleine Fenster	Sprossen- fenster	DIN V 4108-4 Tab.2
					In der DIN 4108-4 Tabelle 2 fehlt $\Psi_{\text{Randverbund}}$
Fensterfläche	von bis 2,0 m ² 4,0 m ²	von bis 1,0 m ² 2,0 m ²	von bis 0,3 m ² 1,0 m ²	von bis 0,5 m ² 3,0 m ²	von bis Keine Angaben
Rahmen: $U_f \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$					
"Passivhaus-Rahmen"					
Glasanteil der Fensterfläche	71 %	60 %	43 %	63 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$				
$U_g = 0,9$ (z.B. 3-2Py-Kr)	0,97	0,99	1,01	1,10	1,2
$U_g = 0,7$ (z.B. 3-2Ag-Kr)	0,83	0,87	0,93	0,98	1,1
$U_g = 0,4$ (z.B. 3-2Mag-Xe)	0,61	0,69	0,80	0,80	-
Rahmen: $0,8 < U_f \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$					
"Niedrigenergiehaus-Rahmen" z.B. guter Holzrahmen ($U_f = 1,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)					
Glasanteil der Fensterfläche	75 %	65 %	50 %	67 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$				
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,56	2,46	2,30	2,58	2,5
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	1,87	1,89	1,90	2,06	1,8
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,64	1,69	1,75	1,86	1,6
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,34	1,43	1,56	1,57	1,3
$U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr)	1,05	1,17	1,36	1,33	1,1
Rahmen: $1,5 < U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$					
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 1 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Vierkammerkunststoffrahmen / Standard-Holzrahmen					
Glasanteil der Fensterfläche	75 %	65 %	49 %	67 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$				
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,70	2,65	2,57	2,79	2,5
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	1,97	2,03	2,12	2,17	1,8
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,75	1,84	1,97	1,97	1,6
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,45	1,58	1,78	1,70	1,3
$U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr)	1,17	1,35	1,61	1,48	1,2
Rahmen: $2,0 < U_f \leq 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$					
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 2.1 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Dreikammerkunststoffrahmen / alter Holzrahmen					
Glasanteil der Fensterfläche	75 %	65 %	49 %	67 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$				
$U_g = 5,8$ (z.B. EV)	5,19	4,95	4,55	5,20	5,2
$U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR)	3,13	3,13	3,13	3,26	3,0
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,90	2,94	2,98	3,05	2,7
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	2,18	2,32	2,53	2,43	2,0
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,95	2,12	2,38	2,23	1,8
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,65	1,86	2,18	1,97	1,6
Rahmen: $2,8 < U_f \leq 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$					
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 2.2 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Alurahmen mit therm. Trennung ($U_f = 3,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)					
Glasanteil der Fensterfläche	76 %	66 %	51 %	68 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$				
$U_g = 5,8$ (z.B. EV)	5,40	5,23	4,96	5,46	5,2
$U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR)	3,32	3,40	3,52	3,53	3,2
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	3,09	3,20	3,36	3,33	2,9
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	2,35	2,55	2,87	2,67	2,2
$U_g = 1,4$ (z.B. 2-Py-Kr)	2,04	2,29	2,67	2,40	1,9
Rahmen: $U_f > 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$					
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 2.3/3 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Alurahmen ohne therm. Trennung ($U_f = 6,96 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)					
Glasanteil der Fensterfläche	76 %	66 %	51 %	68 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$				
$U_g = 5,8$ (z.B. EV)	6,25	6,41	6,67	6,57	5,2
$U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR)	4,08	4,46	5,06	4,41	3,4 bis 4,0
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	3,85	4,26	4,91	4,20	3,2 bis 3,7
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	3,13	3,64	4,46	3,60	2,5 bis 3,0
$U_g = 1,4$ (z.B. 2-Py-Kr)	2,83	3,38	4,25	3,32	2,2 bis 2,7
Die der Berechnung des Gesamt-Fenster-U-Wertes zugrundeliegenden Rahmen-U-Werte entsprechen der jeweils angegebenen Obergrenze der Klasse.					
Legende Verglasungstyp: EV = Einfachvergl.; 2- bzw. 3 = Zwei- bzw. Dreifachvergl.; Gasfüllung: Lu = Luft, Ar = Argon, Kr = Krypton, Xe = Xenon; Beschichtung: Py = pyrolytisch ($\epsilon=0,18$), Ag = Silber ($\epsilon=0,10$), Mag = Magneton ($\epsilon=0,04$)					
*) mit Alu-Randverbund ohne Einbau **) U-Werte Verglasung in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ / Zwischenwerte können interpoliert werden *					

Tab. 42: Fenster-U-Werte / Zusatztablette Einbausituation / Zuschläge gegenüber der Basistabelle³⁰
aus: [Toolbox 2001] / nach: [Kehl 2000]

Zusatztablette 1: U-Wert-Korrekturen für die Einbausituation in W/(m²K) (Zuschläge)				
	große Fenster und Fenstertüren	mittlere Fenster	kleine Fenster	Sprossenfenster
				
Fensterfläche	von bis 2,0 m² 4,0 m²	von bis 1,0 m² 2,0 m²	von bis 0,3 m² 1,0 m²	von bis 0,5 m² 3,0 m²
Rahmen: $U_f \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$				
Neue monolithische AW	0,09	0,13	0,20	0,13
Wärmedämmverbundsystem	0,09	0,13	0,20	0,13
Mehrschaliges MW V1 mit D.	0,03	0,05	0,08	0,05
Mehrschaliges MW V2 mit D.	0,35	0,50	0,75	0,50
Holzständerbauweise	0,02	0,03	0,05	0,03
Rahmen: $0,8 < U_f \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$				
Alte monolithische AW	0,27	0,38	0,58	0,37
Neue monolithische AW	0,15	0,22	0,33	0,22
Wärmedämmverbundsystem	0,08	0,12	0,17	0,13
Mehrschaliges MW V1 mit D.	0,06	0,08	0,12	0,09
Mehrschaliges MW V2 ohne D.	0,22	0,32	0,48	0,31
Mehrschaliges MW V2 mit D.	0,35	0,50	0,76	0,48
Holzständerbauweise	0,08	0,12	0,17	0,13
Rahmen: $1,5 < U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$				
Alte monolithische AW	0,26	0,37	0,56	0,34
Neue monolithische AW	0,15	0,22	0,33	0,20
Wärmedämmverbundsystem	0,06	0,08	0,12	0,08
Mehrschaliges MW V1 mit D.	0,04	0,05	0,07	0,05
Mehrschaliges MW V2 ohne D.	0,20	0,28	0,43	0,26
Mehrschaliges MW V2 mit D.	0,32	0,45	0,68	0,42
Holzständerbauweise	0,02	0,03	0,05	0,03
Rahmen: $2,0 < U_f \leq 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$				
Alte monolithische AW	0,26	0,37	0,56	0,34
Neue monolithische AW	0,16	0,22	0,33	0,20
Wärmedämmverbundsystem	0,06	0,09	0,13	0,07
Mehrschaliges MW V1 mit D.	0,04	0,05	0,08	0,04
Mehrschaliges MW V2 ohne D.	0,20	0,29	0,44	0,26
Mehrschaliges MW V2 mit D.	0,32	0,45	0,69	0,41
Holzständerbauweise	0,03	0,04	0,05	0,03
Rahmen: $2,8 < U_f \leq 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$				
Alte monolithische AW	0,26	0,37	0,56	0,34
Neue monolithische AW	0,16	0,23	0,35	0,22
Wärmedämmverbundsystem	0,14	0,20	0,30	0,19
Mehrschaliges MW V1 mit D.	0,08	0,12	0,18	0,11
Mehrschaliges MW V2 ohne D.	0,20	0,28	0,43	0,27
Mehrschaliges MW V2 mit D.	0,37	0,53	0,81	0,50
Holzständerbauweise	0,06	0,08	0,12	0,08
Rahmen: $U_f > 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$				
Alte monolithische AW	0,33	0,46	0,72	0,43
Neue monolithische AW	0,27	0,38	0,59	0,35
Wärmedämmverbundsystem	0,14	0,20	0,31	0,18
Mehrschaliges MW V2 ohne D.	0,20	0,28	0,44	0,25
Mehrschaliges MW V2 mit D.	0,38	0,53	0,82	0,49
Holzständerbauweise	0,06	0,08	0,13	0,06
Die der Berechnung des Gesamt-Fenster-U-Wertes zugrundeliegenden Rahmen-U-Werte entsprechen der jeweils angegebenen Obergrenze der Klasse.				
Zwischenwerte können interpoliert werden				

³⁰ In der Quelle [Toolbox 2001] ist bei dieser Tabelle die Beschriftung falsch. Es handelt sich nicht um Zuschläge gegenüber monolithischem Mauerwerk, sondern gegenüber der Basistabelle – die Beschreibung im Text ist jedoch korrekt.

Tab. 43: Fenster-U-Werte / Zusatztable Randverbund / Zuschläge gegenüber Aluminium-Randverbund
aus: [Toolbox 2001] / nach: [Kehl 2000])

Zusatztable 2: U-Wert-Korrekturen für den Randverbund in W/(m²K) (Zuschläge)								
	große Fenster und Fenstertüren		mittlere Fenster		kleine Fenster		Sprossenfenster	
								
Fensterfläche	von bis 2,0 m² 4,0 m²		von bis 1,0 m² 2,0 m²		von bis 0,3 m² 1,0 m²		von bis 0,5 m² 3,0 m²	
Rahmen: $U_f \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$								
Randverbund Edelstahl/Kunststoff								
Verglasungstyp	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff
$U_g \leq 0,9$	-0,02	-0,04	-0,02	-0,05	-0,03	-0,06	-0,05	-0,10
Rahmen: $0,8 < U_f \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$								
Randverbund Edelstahl/Kunststoff								
Verglasungstyp	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	-0,02	-0,04	-0,02	-0,05	-0,03	-0,07	-0,05	-0,10
$U_g \leq 1,8$	-0,04	-0,06	-0,06	-0,08	-0,08	-0,11	-0,10	-0,15
Rahmen: $1,5 < U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$								
Randverbund Edelstahl/Kunststoff								
Verglasungstyp	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	-0,02	-0,04	-0,03	-0,05	-0,03	-0,07	-0,06	-0,11
$U_g \leq 1,8$	-0,03	-0,05	-0,04	-0,07	-0,06	-0,09	-0,08	-0,13
Rahmen: $2,0 < U_f \leq 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$								
Randverbund Edelstahl/Kunststoff								
Verglasungstyp	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	-0,02	-0,04	-0,02	-0,05	-0,03	-0,07	-0,05	-0,10
$U_g \leq 1,8$	-0,03	-0,05	-0,04	-0,07	-0,05	-0,09	-0,07	-0,13
Rahmen: $2,8 < U_f \leq 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$								
Randverbund Edelstahl/Kunststoff								
Verglasungstyp	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff	Edelstahl	Kunststoff
$U_g \leq 2,8$	-0,05	-0,08	-0,06	-0,11	-0,09	-0,15	-0,13	-0,21

Analyse der durch unterschiedliche Fenstergrößen bedingten Unsicherheit

Für jede der in der Basistabelle enthaltenen Kombinationen aus Verglasung und Fensterrahmen wurde der Mittelwert des U-Wertes über die vier verschiedenen Fensterformate und die zugehörige Streuung bestimmt. Diese sind in Tab. 44 rechts neben der Basistabelle dargestellt (hellblau hinterlegt). Für die Rahmentypen mit niedrigem Wärmedurchgangskoeffizienten wurden zusätzlich Werte für Verglasungen mit Kunststoffrandverbund berücksichtigt (Werte in Klammern, Anwendung der Korrekturen aus Tab. 43). Dies hat jedoch fast keinen Einfluss auf die Streuung, da die Größenabhängigkeit des U-Wertes von Fenstern mit Kunststoffrandverbund deutlich geringer ist als bei Fenstern mit Aluminiumrandverbund.

Es wurde der Mittelwert der Streuung bestimmt, wobei hierbei seltene Fälle nicht berücksichtigt wurden (gute Verglasungen in sehr schlechten Rahmen / Mittelwerte und Streuungen in grauer Schrift). Der so berechnete Mittelwert der relativen Streuung liegt bei 7%. Setzt man außerdem eine herstellungsbedingte Unsicherheit der Wärmedurchgangskoeffizienten von Verglasung und Rahmen von 5% an, so kommt man auf eine Gesamtunsicherheit von ca. 8%.

Tab. 44: Ermittlung des Mittelwertes und der Spanne des Fenster-U-Werts für verschiedene Fensterformate auf der Grundlage der Basistabelle nach [Toolbox 2001]
(neu ergänzter Tabellenteil ist hellblau hinterlegt)

U-Werte von Fenstern *						
	große Fenster und Fenstertüren	mittlere Fenster	kleine Fenster	Sprossen- fenster	alle Größen	
					Mittelwert	Spanne
Fensterfläche	von bis 2,0 m² 4,0 m²	von bis 1,0 m² 2,0 m²	von bis 0,3 m² 1,0 m²	von bis 0,5 m² 3,0 m²	der vier Größen / Konstruktionsarten	absolut relativ
Rahmen: $U_f \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$						
* Passivhaus-Rahmen						
Glasanteil der Fensterfläche	71%	60%	43%	63%	59%	
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$					
$U_g = 0,9$ (z.B. 3-2Py-Kr)	0,97 (0,93)	0,99 (0,94)	1,01 (0,95)	1,10 (1,00)	0,99	±0,05 ±5%
$U_g = 0,7$ (z.B. 3-2Ag-Kr)	0,83 (0,79)	0,87 (0,82)	0,93 (0,87)	0,98 (0,88)	0,87	±0,06 ±7%
$U_g = 0,4$ (z.B. 3-2Mag-Xe)	0,61 (0,57)	0,69 (0,64)	0,80 (0,74)	0,80 (0,70)	0,69	±0,08 ±12%
Rahmen: $0,8 < U_f \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$						
z.B. guter Holzrahmen ($U_f \approx 1,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)						
Glasanteil der Fensterfläche	75%	65%	50%	67%	64%	
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$					
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,56 (2,52)	2,46 (2,41)	2,30 (2,23)	2,58 (2,48)	2,44	±0,12 ±5%
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	1,87 (1,81)	1,89 (1,81)	1,90 (1,79)	2,06 (1,91)	1,88	±0,09 ±5%
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,64 (1,58)	1,69 (1,61)	1,75 (1,64)	1,86 (1,71)	1,69	±0,09 ±5%
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,34 (1,28)	1,43 (1,35)	1,56 (1,45)	1,57 (1,42)	1,43	±0,10 ±7%
$U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr)	1,05 (0,99)	1,17 (1,09)	1,36 (1,25)	1,33 (1,18)	1,18	±0,13 ±11%
Rahmen: $1,5 < U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$						
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 1 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Vierkammerkunststoffrahmen / Standard-Holzrahmen						
Glasanteil der Fensterfläche	75%	65%	50%	67%	64%	
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$					
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,70	2,65	2,57	2,79	2,68	±0,09 ±3%
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	1,97	2,03	2,12	2,17	2,07	±0,09 ±4%
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,75	1,84	1,97	1,97	1,88	±0,11 ±6%
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,45	1,58	1,78	1,70	1,63	±0,14 ±9%
$U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr)	1,17	1,35	1,61	1,48	1,40	±0,19 ±13%
Rahmen: $2,0 < U_f \leq 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$						
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 2.1 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Dreikammerkunststoffrahmen / alter Holzrahmen						
Glasanteil der Fensterfläche	75%	65%	50%	67%	64%	
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$					
$U_g = 5,8$ (z.B. EV)	5,19	4,95	4,55	5,20	4,97	±0,30 ±6%
$U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR)	3,13	3,13	3,13	3,26	3,16	±0,06 ±2%
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,90	2,94	2,98	3,05	2,97	±0,06 ±2%
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	2,18	2,32	2,53	2,43	2,37	±0,15 ±6%
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,95	2,12	2,38	2,23	2,17	±0,18 ±8%
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,65	1,86	2,18	1,97	1,92	±0,22 ±12%
Rahmen: $2,8 < U_f \leq 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$						
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 2.2 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Alurahmen mit therm. Trennung ($U_f \approx 3,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)						
Glasanteil der Fensterfläche	76%	66%	51%	68%	65%	
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$					
$U_g = 5,8$ (z.B. EV)	5,40	5,23	4,96	5,46	5,26	±0,22 ±4%
$U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR)	3,32	3,40	3,52	3,53	3,44	±0,10 ±3%
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	3,09	3,20	3,36	3,33	3,25	±0,12 ±4%
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	2,35	2,55	2,87	2,67	2,61	±0,22 ±8%
$U_g = 1,4$ (z.B. 2-Py-Kr)	2,04	2,29	2,67	2,40	2,35	±0,26 ±11%
Rahmen: $U_f > 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$						
entspr. Rahmenmaterial der Gruppe 2.3/3 nach DIN 4108 Teil 4 z.B. Alurahmen ohne therm. Trennung ($U_f \approx 6,96 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)						
Glasanteil der Fensterfläche	76%	66%	51%	68%	65%	
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters U_w in $\text{W/(m}^2\text{K)}$					
$U_g = 5,8$ (z.B. EV)	6,25	6,41	6,67	6,57	6,48	±0,18 ±3%
$U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR)	4,08	4,46	5,06	4,41	4,50	±0,41 ±9%
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	3,85	4,26	4,91	4,20	4,31	±0,44 ±10%
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	3,13	3,64	4,46	3,60	3,71	±0,55 ±15%
$U_g = 1,4$ (z.B. 2-Py-Kr)	2,83	3,38	4,25	3,32	3,45	±0,59 ±17%
Die der Berechnung des Gesamt-Fenster-U-Wertes zu Grunde liegenden Rahmen-U-Werte entsprechen der jeweils angegebenen Obergrenze der Klasse.						
Legende Verglasungstyp: EV = Einfachvergl.; 2- bzw. 3 = Zwei- bzw. Dreifachvergl.; Gasfüllung: Lu = Luft, Ar = Argon, Kr = Krypton, Xe = Xenon; Beschichtung: Py = pyrolytisch ($\epsilon=0,18$), Ag = Silber ($\epsilon=0,10$), Mag = Magnetron ($\epsilon=0,04$)						
*) mit Alu-Randverbund ohne Einbau / Werte in Klammer = mit Kunststoffrandverbund **) = U-Werte Verglasung in $\text{W/(m}^2\text{K)}$						

Aufbauend auf diesen Analysen und unter Anwendung einer Rundung auf 5%-Schritte werden die Pauschalwerte für die Unsicherheit des U-Wertes von Fenstern im MOBASY-Realbilanzverfahren wie folgt angesetzt:

Tab. 45: Ansätze für die Unsicherheiten pauschaler Fenster-U-Werte im MOBASY-Realbilanzverfahren

Fall	relative Unsicherheit des pauschalen Fenster-U-Wertes
Planungswerte für neue Fenster, detaillierte U-Wert-Berechnung für jedes Fenster, durch Hersteller zertifizierte Fenster-Qualität, qualitätsgesicherter Einbau	5%
Planungswerte für neue Fenster, U-Wert-Berechnung für ein Fenster mittlerer Größe	10%

C.6.6 Ergebnis / Zusammenführung der Daten

Die in den vorangegangenen Abschnitten ermittelten pauschalen Fenster-U-Werte können nun in folgender Tabelle zusammengefasst werden:

Tab. 46: Pauschale Fenster-U-Werte

Anzahl Schei- ben	Wärme- schutzver- glasung	Rahmenmate- rial	Zusatz-In- dikator	Einbaujahr								
				Year_Installation_WindowType_Calc								
				un- bekannt	... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
				Index_Period_ConstructionYear								
				NA	1 ... 5	6	7	8	9	10	11	12
				U-Werte [W/(m²K)]								
Code_Win- dowType _nPane	Code_Window Type_LowE	Code_WindowType _FrameMaterial	Code_Window Type_Further	U_Window_Calc								
-	-	-	-	2,4	3,7	3,7	3,0	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1
1	-	-	-	5,2	4,5	5,2	4,9	4,7	4,6	4,5	4,4	4,4
		Wood	-	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4
		Plastic	-	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,4	4,4
		Metal	-	6,2	6,2	6,2	5,7	5,0	4,9	4,7	4,5	4,4
		WoodMetal	-	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4
2	-	-	-	2,3	2,4	3,1	3,0	2,7	1,9	1,5	1,3	1,3
		Wood	-	2,3	2,4	2,4	2,7	2,6	1,8	1,5	1,4	1,3
		Plastic	-	2,1	2,6	2,6	2,8	2,6	1,8	1,4	1,3	1,3
		Metal	-	2,9	4,1	4,1	3,8	3,0	2,2	1,7	1,4	1,3
		WoodMetal	-	1,8	2,6	2,6	2,6	2,6	1,8	1,5	1,3	1,3
	NoCoating	-	-	2,9	2,4	3,1	3,0	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6
		Wood	-	2,6	2,4	2,4	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
		Plastic	-	2,7	2,6	2,6	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6
		Metal	-	3,6	4,1	4,1	3,8	3,1	3,0	2,8	2,8	2,8
		WoodMetal	-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
	LowE	-	-	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,5	1,3	1,3
		Wood	-	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,4	1,3
		Plastic	-	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3
		Metal	-	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,7	1,4	1,3
		WoodMetal	-	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,3
3	-	-	-	1,1	1,7	2,3	2,2	2,0	1,3	1,2	1,0	1,0
		Wood	-	1,1	1,7	1,7	1,9	1,9	1,2	1,2	1,1	1,1
		Plastic	-	1,0	1,9	1,9	2,1	2,0	1,2	1,1	1,0	1,0
		Metal	-	1,1	3,4	3,4	3,1	2,4	1,6	1,3	1,1	1,0
		WoodMetal	-	1,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,2	1,2	1,0	1,0
	NoCoating	-	-	2,0	1,7	2,3	2,2	2,0	2,0	1,9	1,7	1,7
		Wood	-	1,8	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
		Plastic	-	1,9	1,9	1,9	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7
		Metal	-	2,4	3,4	3,4	3,1	2,4	2,3	2,0	1,8	1,7
		WoodMetal	-	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,7
	LowE	-	-	1,1	1,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0
		Wood	-	1,1	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
		Plastic	-	1,0	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
		Metal	-	1,1	2,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,3	1,1	1,0
		WoodMetal	-	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
		-	Insulation	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Anmerkungen:

"-": keine Information verfügbar

Statistik erst ab 1971 verfügbar. Für die Spalte "... 1968" wurden die U-Werte der nachfolgenden Baualtersklasse eingesetzt, wobei angenommen wurde, dass es sich nur um Holzfenster ohne Isolierverglasung handelt.

Die Werte in der letzten Zeile orientieren sich an der Definition des Passivhaus-Standards

Für die Abschätzung der Unsicherheit der energetischen Bilanzierung kann die Unsicherheit der Fenster-U-Werte in folgende Klassen gruppiert werden:

Tab. 47: Qualitative Beschreibung der fünf Unsicherheitsklassen und Quantifizierung der Unsicherheiten des U-Wertes von Fenstern

	Unsicherheitsklasse				
	A	B	C	D	E
Beschreibung	Planungswerte für neue Fenster, detaillierte U-Wert-Berechnung für jedes Fenster, durch Hersteller zertifizierte Fenster-Qualität, qualitätsgesicherter Einbau	Planungswerte für neue Fenster, U-Wert-Berechnung für ein Fenster mittlerer Größe	Vor-Ort-Datenaufnahme / Datensatz oder Angabe des Gebäudeeigentümers (mit Ausnahme der bei "D" genannten Fälle)	Vor-Ort-Datenaufnahme / Datensatz oder Angabe des Gebäudeeigentümers -> zwei Sonderfälle: (a) Fenster mit Zweischeiben-Verglasung der Baualtersklasse 1969 ... 1978 ohne Angabe des Rahmentyps (b) Fenster der Baualtersklasse 1995 ... 2001 ohne Information, ob Wärmeschutzverglasung vorliegt	keine Angaben zum Fenster
relative Unsicherheit des Fenster-U-Wertes*	5%	10%	15%	30%	50%

*) symmetrische Verteilung um den Pauschalwert bzw. Mittelwert

Wie bei den opaken Bauteilen ist hier ebenfalls zu beachten, dass sich der auf die Heizzeit bezogene reale Transmissionswärmeverlust pro m² Fenster und pro K Lufttemperaturdifferenz zwischen innen und außen gegenüber der normgerechneten Berechnung unterscheiden kann. Insbesondere können in der Praxis Minderungen des Wärmeübergangs außen und innen durch Vorhänge, Gardinen, Roll- oder Klappläden auftreten. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Pauschalwerte gegenüber den wirklichen Mittelwerten im Bestand systematisch verschoben sind – insbesondere bei älteren Fenstern mit höherem U-Wert.

Anhang D – Rechenregeln für die U-Wert-Schätzung – Umgang mit fehlenden Daten und Fehlerfortpflanzung

D.1 Ermittlung der Modell-Eingangsvariablen / Behandlung unvollständiger oder fehlender Eingaben bei den Energieprofil-Erhebungsgrößen

D.1.1 Eingabedaten für die Ermittlung des U-Wertes opaker Bauteile

Im Energieprofil-Fragebogen werden die folgenden Informationen zur Spezifizierung der energetischen Qualität von opaken Bauteilen erfasst (siehe Auszug aus dem Energieprofil-Fragebogen in Bild 75):

- Gebäude-Baujahr

je Bauteil:

- Konstruktionsart Original-Bauteil (massiv, Holz, gemischt, keine Angabe / unbekannt)
- Kategorie der Dämmung (keine, original, Modernisierung, keine Angabe / unbekannt)
- Jahr der Dämmung / Wärmeschutz-Modernisierung
- Dicke der Dämmung
- Flächenanteil der Dämmung

Zusatzangabe je Bauteil (nur für Experten):

- Art der Maßnahme (zusätzliche Dämmung, vorhandene Konstruktion ausgetauscht, vorhandene Dämmung ausgetauscht, keine Angabe / unbekannt)
- effektive Wärmeleitfähigkeit der Dämmung

Bild 75: Auszug Energieprofil-Fragebogen – Erfassung der Eingabedaten für die Ermittlung des U-Wertes opaker Bauteile

Hauptfragebogen

Baujahr

Thermische Hülle (nicht-transparente Elemente)												
	Konstruktionsart		Dämmung				Innendämmung der Wände	Dämmstärke	cm	% der Fläche	%	
	massiv	Holz	keine	original	Modernisierung	keine Angabe / unbekannt						Jahr der Modernisierung
Dach	☒	☐	☐	☐	☒	☐	2016		40	cm	100	%
oberste Geschossd.	☒	☐	☐	☐	☐	☒	1986		#N/A	cm	#N/A	%
Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	☐	#N/A	☒	20	cm	100	%
Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	☐	#N/A		0	cm	0	%

Zusätzlicher Expertenteil

Details der Wärmedämmung					
	zusätzliche Dämmung	vorhandene Konstruktion	ausgetauscht vorhandene Dämmung	ausgetauscht k.A.	effektive Wärmeleitfähigkeit Lambda W/(m·K)
Dach	☒	☐	☐	☐	0,040
oberste Geschossd.	☐	☐	☐	☒	0,040
Außenwände	☒	☐	☐	☐	0,035
Fußboden	☐	☐	☐	☒	0,040

Sind für Erhebungsgrößen keine Informationen vorhanden, so bleibt der Eintrag bei "keine Angabe / unbekannt" bzw. bei #NV (engl. #N/A) bei numerischen Erhebungsgrößen. Die Zuordnung von Codes, die Behandlung nicht vorhandener Eingabedaten, die Ermittlung der Unsicherheiten und die Übersetzung in die Eingangsdaten der Energiebilanz wird in den folgenden Abschnitten dokumentiert. Die Darstellung erfolgt dabei universell ohne Unterscheidung der Bauteilart, da die Mechanismen für alle opaken Bauteile gleich sind. Im MOBASY-Realbilanz-Rechenalgorithmus und im Excel-Tool wird die Berechnung natürlich jeweils separat für die Bauteiltypen Dach, Geschossdecke, Außenwand und Fußboden durchgeführt.

D.1.2 U-Wert opaker Konstruktionen ohne wärmetechnische Verbesserungen

Der originäre U-Wert eines Bauteils wird mit Hilfe des Baujahrs des Gebäudes (Erhebungsgröße [Year_Building](#)) durch Zuordnung von nach Baualtersklassen differenzierten Pauschalwerten geschätzt. Ist das Baujahr nicht bekannt, wird der Zeitraum "1958 ... 1968" verwendet (Rechenwert $\text{Year_Building_Calc} = 1963$), was einer mittleren Baualtersklasse im Altbaubestand entspricht.

RR 1: $\text{Year_Building_Calc}$ – Baujahr des Gebäudes

Year_Building_Calc	= IF	AND	Year_Building <> #N/A
			Year_Building > 0
		THEN	Year_Building
		ELSE	Year_Building_NA

Year_Building_NA = Konstante; für Deutschland auf 1963 gesetzt (mittleres Jahr der mittleren Baualtersklasse im Bestand); siehe Anhang C.1.3
Bezeichnung in EnergyProfile.xlsm "Year1_Building" statt "Year_Building_Calc" (Kompatibilität mit TABULA-WebTool)

Die pauschalen U-Werte nicht nachträglich gedämmter Bauteile je Baualtersklasse hängen von der Art der Konstruktion ab – dies wird mit zwei Indikatoren "massiv" und "Holz" abgefragt. Sind für die beiden Erhebungsvariablen keine Einträge vorhanden, wird die Eingangsgröße für die Berechnung auf 0 gesetzt. Wenn beide Modell-Eingangsgrößen 0 sind, wird der Pauschalwert "Default" verwendet. Wenn beide auf 1 geschaltet sind, wird dies als Mischkonstruktion aufgefasst und der Mittelwert der beiden pauschalen U-Werte wird verwendet.

RR 2: Indicator_Constr_Massive_Calc – Indikator für massive Konstruktion

Indicator_Constr_Massive_Calc	= IF	Indicator_Constr_Massive <> #N/A	
		THEN	Indicator_Constr_Massive
		ELSE	0

RR 3: Indicator_Constr_Wooden_Calc – Indikator für Holzkonstruktion

Indicator_Constr_Wooden_Calc	= IF	Indicator_Constr_Wooden <> #N/A	
		THEN	Indicator_Constr_Wooden
		ELSE	0

RR 4: U_Original – U-Wert des Original-Zustands

U_Original [W/(m²K)]	= IF	Indicator_Constr_Massive_Calc = 1			
		THEN	IF	Indicator_Constr_Wooden_Calc = 1	
				THEN	U_Class_Massive (Year_Building_Calc)
					U_Class_Wooden (Year_Building_Calc)
				ELSE U_Class_Massive (Year_Building_Calc)	
		ELSE	IF	Indicator_Constr_Wooden_Calc = 1	
				THEN	U_Class_Wooden (Year_Building_Calc)
				ELSE	U_Class_NA (Year_Building_Calc)

In bestimmten Fällen wird zusätzlich zum Wärmedurchgangskoeffizienten des reinen Bauteils noch der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand eines unbeheizten Raums bzw. Bereichs berücksichtigt. Bei der Energieprofil-Eingabe betrifft dies die Bauteile oberste Geschossdecke, sowie Wand und Boden gegen Keller, die fest mit den TABULA-Modell-Eingangsvariablen für die Bauteile "Roof_2", "Wall_2" und "Floor_1" verdrahtet sind (siehe Abschnitt D.2).³¹

RR 5: U_Original_Calc – U-Wert des Original-Zustands mit gegebenenfalls zusätzlichem Wärmedurchlasswiderstand bei angrenzenden unbeheizten Bereichen)

U_Original_Calc [W/(m²K)]	= IF	Constr = { "Roof_2"; "Wall_2"; "Floor_1" }	
		THEN	1 / (1/U_Original + R_Add_UnheatedSpace)
		ELSE	U_Original

mit dem Pauschalwert R_Add_UnheatedSpace = 0,3 m²K/W, siehe [TABULA Calc Method 2013]

³¹ Bei der alternativen, direkten Eingabe von Flächen und U-Werten in EnergyProfile.xlsm können die zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstände je Bauteil individuell als Zahlenwert eingesetzt werden.

D.1.3 Art der wärmetechnischen Verbesserungen

Ist für ein Gebäude bekannt, dass eine Wärmeschutzmaßnahme für das Bauteil durchgeführt wurde, aber die Dämmstoffstärken und Flächenanteile der Dämmung sind unbekannt, so kann dies über den Indikator `Code_InsulationType` angegeben werden. In der Berechnung werden dann durchschnittliche Dämmstoffdicken und Flächenanteile angesetzt (siehe Abschnitt D.3.1). Werden Dämmstoffstärken und Flächenanteile angegeben, aber der Eintrag für `Code_InsulationType` fehlt, so wird für vor 1995 errichtete Gebäude angenommen, dass es sich um eine Modernisierung handelt, für neuere Gebäude wird angenommen, dass es sich um das Original-Bauteil handelt.

RR 6: `Code_InsulationType_Calc` – Anlass der Dämmstoff-Installation

Code_InsulationType_Calc	= IF	Code_InsulationType <> "_NA_"		
		THEN Code_InsulationType		
		ELSE	IF	Year_Building_Calc < Year_Refurbishment_Constr_NA
				THEN "Refurbish"
				ELSE "Original"

Year_Refurbishment_Constr_NA: Konstante, die das wahrscheinlichste Jahr der energetischen Modernisierung für Fälle wiedergeben sollte, bei denen die Eigentümer das Jahr der energetischen Modernisierung nicht kennen; für Deutschland auf 1995 gesetzt

Die Codes für die Erhebungsgröße `Code_InsulationType` sind "None", "Original", "Refurbish", "_NA_" (siehe Anhang B.1).

Über die Modell-Eingangsvariable `Code_MeasureType_Calc` wird festgelegt, ob der Wärmedurchgangswiderstand der Maßnahme einfach zu dem des bestehenden, unveränderten Bauteils hinzuaddiert wird oder ob eine gegebenenfalls bereits vorhandene Dämmung durch eine (typischerweise wirksamere) Dämmung ersetzt wird. Gibt es für die Erhebungsgröße keinen Eintrag, wird im Regelfall die angegebene Dämmung als additive Maßnahme interpretiert. Die einzige Ausnahme ist der Fall, in dem als Eintrag für die Erhebungsgröße `Code_InsulationType` die Option "Original" gewählt ist. In der Berechnung wird in diesem Fall aus dem Original-U-Wert gemäß Baualtersklasse die standardmäßig angesetzte Dämmung herausgerechnet und die angegebene Dämmung berücksichtigt.³² Im vereinfachten Rechenschema wird der U-Wert für die Konstruktion ohne Dämmung auf den Pauschalwert von 1,0 W/(m²K) angesetzt und die angegebene Dämmung hinzugerechnet.

RR 7: `Code_MeasureType_Calc` – Art des An- oder Einbringens der Dämmung

Code_MeasureType_Calc	= IF	Code_MeasureType <> "_NA_"		
		THEN Code_MeasureType		
		ELSE	IF	Code_InsulationType_Calc = "Original"
				THEN "ReplaceInsulation"
				ELSE "Add"

Die Codes für die Erhebungsgrößen `Code_MeasureType` sind "Add", "Replace", "ReplaceInsulation", "_NA_" und für `Code_InsulationType` "None", "Original", "Refurbish", "_NA_" (siehe (siehe Anhang B.1).

³² Dies ist die Möglichkeit bei Kenntnis über Dämmung von Bestandsbauteilen eine entsprechende Korrektur des Pauschalwerts durchzuführen.

D.1.4 Wärmeleitfähigkeit, Dämmstoffstärke und gedämmter Flächenanteil

Die Erhebungsgröße **Year_Refurbishment_Constr** wird im Berechnungsgang dafür verwendet, Pauschalwerte für die Dämmstoffstärken und Lambda-Werte auszuwählen, wenn diese nicht angegeben werden. Erfolgt kein Eintrag für das Modernisierungsjahr, wird pauschal das Jahr 1995 angenommen, wenn das Gebäude vor 1995 errichtet wurde. Die Modell-EingangsvARIABLE heißt **Year_Insulation_Calc** und kann sich auch auf die Dämmung bei Errichtung des Gebäudes beziehen. Wird zum Beispiel für ein 1985 errichtetes Gebäude die Dämmstoffstärke für das betreffende Bauteil angegeben mit dem Vermerk, dass es sich um das Original-Bauteil handelt, so wird der Lambda-Wert entsprechend der Baualtersklasse des Gebäudes geschätzt.

RR 8: **Year_Insulation_Calc** – Jahr der Dämmstoffinstallation

Year_Insulation_Calc	= IF	AND	Year_Refurbishment_Constr <> #N/A	
			Year_Refurbishment_Constr > 0	
		THEN	Year_Refurbishment_Constr	
		ELSE	IF	Code_InsulationType = "Original"
				Year_Building_Calc >= Year_Refurbishment_Constr_NA
				THEN Year_Building_Calc
				ELSE Year_Refurbishment_Constr_NA

Year_Refurbishment_Constr_NA: siehe Anmerkung oben

Die Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen wird in der Grundversion des Energieprofil-Fragebogens nicht abgefragt, jedoch kann sie, sofern bekannt, im Bereich der zusätzlichen Expertenangaben eingetragen werden. Liegen keine Angaben vor, werden Pauschalwerte entsprechend dem Baualter der Maßnahme bzw. dem Einbaujahr der Dämmung verwendet (Pauschalwerte siehe Anhang D.3.1).

RR 9: **Lambda_Insulation_Calc** – effektive Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes

Lambda_Insulation_Calc [W/(m·K)]	= IF	AND	Lambda_Insulation <> #N/A	
			Lambda_Insulation > 0	
		THEN	Lambda_Insulation	
		ELSE	Lambda_Insulation_Default (Year_Insulation_Calc)	

Die Dämmstärke zusätzlicher Dämmung wird von der Einheit der Erhebungsvariablen "cm" auf die Einheit der Modelleingangsvariablen "m" überführt. Ist die Dämmstärke zusätzlicher Dämmung unbekannt, aber bekannt, dass eine Maßnahme durchgeführt wurde, so wird sie auf den Pauschalwert gesetzt, der dem Jahr der Umsetzung der Maßnahme zugeordnet ist und der der mittleren Dämmstärke in diesem Zeitraum entspricht (wenn das Jahr unbekannt ist, siehe oben). Ist bei unbekannter Dämmstärke angegeben, dass das Bauteil im Originalzustand vorliegt (**Code_InsulationType** = "Original"), wird der Rechenwert für die Dämmstärke auf 0 gesetzt. Zur Anwendung kommen diese Rechenwerte nur für den Fall, dass der Flächenanteil der Dämmung einen Wert > 0 aufweist oder unbekannt ist (siehe Modelleingangsvariable "f_Measure").

RR 10: d_Insulation_Calc – (nominale) Dicke der Dämmung

d_Insulation_Calc [m]	= IF	d_Insulation <> #N/A		
		THEN d_Insulation [cm] / 100		
		ELSE	IF	Code_InsulationType = "Refurbish"
				Code_InsulationType = "_NA_"
				THEN d_Insulation_Default [cm] (Year_Insulation_Calc) / 100
				ELSE 0

Die Codes für die Erhebungsgröße Code_InsulationType sind "None", "Original", "Refurbish", "_NA_" (siehe Anhang B.1).

Wenn eine Dämmstärke angegeben ist, aber kein Flächenanteil und von einer Wärmeschutzmodernisierung ausgegangen werden kann, so wird der Flächenanteil auf den Pauschalwert für modernisierte Bauteile gesetzt (Durchschnittswert für wärmetechnisch modernisierte Bauteile). Wenn die Dämmstärke nicht angegeben ist und auch keine Angabe vorliegt, dass eine Modernisierung vorliegt, wird von unbekanntem Modernisierungszustand ausgegangen und der Flächenanteil auf den Pauschalwert für unbekannten Modernisierungszustand gesetzt. Diese Pauschalwerte entsprechen dem durchschnittlichen Zustand aller Gebäude der entsprechenden Baualtersklasse (siehe Abschnitt D.3.1).

RR 11: f_Insulation_Calc – Flächenanteil der Wärmedämmung an dem jeweiligen Bauteiltyp

f_Insulation_Calc	= IF	f_Insulation <> #N/A				
		THEN f_Insulation				
		ELSE	CASE	Code_InsulationType =		
				"None"	0	
				"Refurbish"	f_Measure_Default (Year_Insulation_Constr_Calc)	
				"_NA_"	IF	d_Insulation >= 1 cm
						THEN f_Measure_Default (Year_Insulation_Constr_Calc)
						ELSE f_Measure_Default (Year_Building_Calc)
				"Original"	IF	d_Insulation >= 1 cm
						THEN 1
						ELSE 0

Die Codes für die Erhebungsgröße Code_InsulationType sind "None", "Original", "Refurbish", "_NA_" (siehe Anhang B.1).

D.1.5 Berechnung des effektiven U-Wertes opaker Konstruktionen

Der effektive U-Wert errechnet sich aus dem U-Wert der ungedämmten und gedämmten Fläche, gewichtet mit den Flächenanteilen:

RR 12: **U_Effective** – effektiver U-Wert für ganz oder teilweise gedämmte Bauteile

U_Effective [W/(m²K)]	= (1 - f_Insulation_Calc) * U_Original_Calc + f_Insulation_Calc * U_Insulated
--------------------------	---

Der U-Wert der gedämmten Teilfläche U_Insulated ermittelt sich aus dem Kehrwert der Summe der Wärmedurchgangswiderstände der Original-Konstruktion³³ und der zusätzlichen Dämmung:

RR 13: **U_Insulated** – U-Wert der gedämmten Teilfläche

U_Insulated [W/(m²K)]	= 1 / (1/U_Original_Calc + R_Insulation)
--------------------------	--

Der Wärmedurchgangswiderstand R_Insulation der zusätzlichen Dämmung ist:

RR 14: **U_Insulated** – U-Wert der gedämmten Teilfläche

R_Insulation [W/(m²K)]	f_Insulation_Calc > 0		
	= IF	THEN	= d_Insulation_Calc / Lambda_Insulation_Calc ³⁴
		ELSE	0

Die zusätzlich vom gedämmten Flächenanteil abhängige Bedingung wird hier benötigt, da die Größe R_Insulation bei der Ermittlung der Unsicherheit als Indikator für das Vorhandensein einer zusätzlichen Dämmschicht verwendet wird.

³³ In der Formel wird nur der einfache Fall wiedergegeben, bei dem das vorhandene Bauteil unverändert bleibt.

³⁴ Im Excel-Berechnungstool "tabula-calculator.xlsx" wird aus Gründen der Kompatibilität zum TABULA WebTool statt der effektiven Wärmeleitfähigkeit Lambda_Insulation_Calc ein Wärmedurchlasswiderstand einer vordefinierten Maßnahme R_PredefinedMeasure und eine zugehörige Dämmschichtdicke verwendet (zur einfachen Skalierung vorberechneter Wärmedurchgangswiderstände von Maßnahmen). Bei der Energieprofil-Anwendung wird die Dämmschichtdicke der vordefinierten Maßnahme konstant auf 1 cm gesetzt, weshalb R_PredefinedMeasure gleich 0,01 m / Lambda_Insulation_Calc ist.

D.1.6 Eingabedaten für die Ermittlung des U-Wertes von Fenstern

Die Eingabedaten für die Ermittlung des Fenster-U-Wertes sind das Installationsjahr, die Anzahl der Scheiben, das Vorhandensein einer Beschichtung auf der Verglasung und die Rahmenart. Zusätzlich kann im Expertenteil des Erhebungsbogens auch die Herstellerangabe für den Fenster-U-Wert eingetragen werden – sofern ein Eintrag vorliegt, wird diese für die Energiebilanzberechnung verwendet.³⁵ Sind am Gebäude unterschiedliche Fensterarten verbaut, kann ein zweiter Fenstertyp definiert werden und der entsprechende Flächenanteil angegeben werden. Sind mehr als zwei Arten vorhanden, werden die beiden überwiegenden Typen erhoben.

Bild 76: Ausschnitt aus dem Energieprofil-Fragebogen – Erhebungsgrößen Fenster

Fragebogen-Hauptteil

Fenster		Verglasung					Rahmen					gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):
	% der Fensterfläche	1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Wärmeschutzvergl.	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere	unbekannt		
Haupttyp Fenster		☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	2000
weiterer Typ Fenster	#N/A %	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	#N/A
(Rest = Haupttyp Fenster)												(U ≤ 0.8 W/(m²K))	

Zusätzlicher Expertenteil

Fenster – Hersteller-Angaben	
U-Wert Gesamt-Fenster (Verglasung + Rahmen) - Angaben des Herstellers / Eingabe alternativ zur Auswahl der Art von Verglasung und Rahmen	
	W/(m²K)
Haupttyp Fenster	0
weiterer Typ Fenster	0
Wenn hier ein Wert eingegeben wird, wird die Eingabe von Fenstertypen im Energieprofil-Fragebogen inaktiv.	

³⁵ Bei Eintrag von vorliegenden Herstellerangaben sollten immer auch die anderen Fensterangaben gemacht werden – diese können zur Plausibilisierung genutzt werden, sind aber vor allem als Information für statistische Auswertungen relevant (z.B. Beantwortung der Frage: "Wieviel Gebäude der Stichprobe haben Dreifach-Verglasung").

Auf Basis der Erhebungsdaten kann der Fenstertyp ermittelt und ein typischer Wert für den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) zugeordnet werden. Fehlen Angaben zu den Fenstern, so wird ein pauschaler U-Wert zugeordnet, der dem Mittelwert einer größeren Bandbreite von möglichen Fenstertypen entspricht. Gleichzeitig erhöht sich die Unsicherheit der Energiebilanzberechnung.

Die notwendigen Rechenregeln werden im Folgenden dokumentiert. Die Darstellung erfolgt bezogen auf Fenstertyp 1, für den zweiten Fenstertyp werden die Formeln analog verwendet. Für die Identifizierung des Fenstertyps und die Zuordnung von pauschalen U-Werten wird das TABULA-Fenster-Code-System verwendet [TABULA Data Eval 2015] – der Code des Fensters setzt sich aus den Teil-Codes für Scheibenzahl, Beschichtungsart, Rahmenart und einer Zusatzinformation zusammen. Die den Fenstertypen bzw. -codes zugeordneten Pauschalwerte finden sich im Abschnitt D.3 – deren Herleitung in Anhang C.6. Ist in der Pauschalwert-Tabelle als Teil-Code ein "-" eingetragen, so handelt es sich bei dem U-Wert um das gewichtete Mittel aller in der Baualtersklasse vorkommenden Typen.³⁶

Als zusätzliche Erhebungsgröße gibt es noch einen Indikator für das Vorhandensein von Dreifach-Wärmeschutzverglasung im wärmegeprägten Rahmen, also eines Passivhaus-Fensters. Ist dieser Indikator auf 1 gesetzt, werden bei der Ermittlung des U-Wertes die anderen für die Zuordnung des U-Wertes verwendeten Eingaben ignoriert.

Gibt es keine Informationen zum Einbaujahr der Fenster, so wird vereinfachend das Gebäudebaujahr zur Zuordnung verwendet.

RR 15: Year_Installation_WindowType1_Calc – Einbaujahr Fenster

Year_Installation_WindowType1_Calc	= IF	Year_Installation_WindowType1 <> #N/A
		THEN Year_Installation_WindowType1
		ELSE Year_Building_Calc

Der Teil-Code für die Anzahl der Scheiben (Variable Code_U_Class_WindowType1_nPane) ist einfach die entsprechende Ziffer. Ist die Anzahl der Scheiben nicht bekannt, so wird der Pauschal-U-Wert nur über die Baualtersklasse bestimmt (der Teil-Code ist dann "-") – eine weitere Differenzierung findet nicht statt. Möglicherweise vorhandene Informationen zu Rahmenart oder Beschichtung werden also in diesem Fall ausgeblendet (siehe folgende Rechenregeln). Bei Angabe von mehr als 3 Scheiben werden vereinfachend die Pauschalwerte für Verglasungen mit 3 Scheiben verwendet – sind in einem solchen Fall qualifizierte Herstellerangaben für den Fenster-U-Wert bekannt, können diese zusätzlich zu den Erhebungsgrößen eingetragen werden (Erhebungsgröße U_w_Certified_WindowType1, hier vorgenommene Einträge werden automatisch anstelle der Pauschalwerte verwendet).

³⁶ Beispielsweise wird (bei zweifachverglachten Fenstern) in den Rechenregeln keine altersklassenspezifische Zuordnung des Vorhandenseins von Wärmeschutzverglasung bei nicht vorhandener Angabe vorgenommen (vor 1995: nein, danach: ja), sondern über den Teil-Code "-" erfolgt eine Zuordnung des mittleren U-Wertes aller in der Periode produzierten Fenster.

RR 16: Code_U_Class_WindowType1_nPane – TABULA-Code-Segment für die Anzahl der Scheiben
(identische Rechenregel für WindowType2)

Code_U_Class_WindowType1_nPane	Indicator_PassiveHouseWindow_WindowType1 = 1				
	= IF	THEN "3"			
		ELSE	IF	Code_NumberPanes_WindowType1 <> _NA_	
				THEN	MIN
				Left (Code_NumberPanes_WindowType1; 1)	
				"3"	
			ELSE	"-"	

Die Codes für die Erhebungsgröße `Code_NumberPanes_WindowType1` sind { "1p", "2p", "3p", "4p", "5p", "_NA_" } (siehe Anhang B.1). Die für die Rechenvariable resultierenden Codes sind { "-", "1", "2" und "3" }.

Der zweite Teil-Code (Variable `Code_U_Class_WindowType1_LowE`) bezieht sich auf das Vorhandensein von Wärmeschutzverglasung. Liegt hierzu keine Information vor, wird "-" eingesetzt. Die Angaben zum Vorhandensein von Wärmeschutzverglasung werden ignoriert, wenn es sich um eine Einfachverglasung handelt.³⁷

RR 17: Code_U_Class_WindowType1_LowE – TABULA-Code-Segment als Indikator für Wärmeschutzverglasung
(identische Rechenregel für WindowType2)

Code_U_Class_WindowType1_LowE	= IF	Indicator_PassiveHouseWindow_WindowType1 = 1						
		THEN	"LowE"					
		ELSE	IF	OR	Code_NumberPanes_WindowType1 = "1p"			
					Indicator_LowE_WindowType1 = #N/A			
				THEN	"-"			
				ELSE	IF	Indicator_LowE_WindowType1 = 1		
						THEN	"LowE"	
						ELSE	"NoCoating"	

Die möglichen Zustände für die Erhebungsgröße `Indicator_LowE_WindowType1` sind { #N/A; 0; 1 } (Typ Boolean). Die für die Rechenvariable resultierenden Codes sind { "-", "NoCoating", "LowE" }.

³⁷ Einfachverglaste Fenster mit einer niedrigemittierenden Beschichtung sind sehr selten, in diesem Fall sollte bei der Erhebung zusätzlich die Herstellerangabe für den U-Wert eingetragen werden.

Bei den Fensterrahmen sind die Codes der Erhebungsgröße und der Modelleingangsvariablen größtenteils identisch.

RR 18: Code_U_Class_WindowType1_FrameMaterial – TABULA- Code-Segment als Indikator für das Rahmenmaterial
(identische Rechenregel für WindowType2)

Code_U_Class_WindowType1_FrameMaterial	= IF	Indicator_PassiveHouseWindow_WindowType1 = 1			
		THEN	"-"		
		ELSE	= CASE	Code_Frame_WindowType1 =	
				"_NA_"	"_"
				"Wood"	"Wood"
				"Plastic"	"Plastic"
				"Metal"	"Metal"

Das vierte Code-Segment "Code_U_Class_WindowType1_GasFilling" für das Füllgas im Scheibenzwischenraum wird hier nicht als Informationsträger verwendet und steht konstant auf "-".³⁸

RR 19: Code_U_Class_WindowType1_GasFilling – TABULA-Code-Segment als Indikator für die Gasfüllung im Scheibenzwischenraum
(identische Rechenregel für WindowType2)

Code_U_Class_WindowType1_GasFilling	= "-"
-------------------------------------	-------

Die Information, dass es sich um ein Passivhausfenster handelt (3-fach-Wärmeschutzverglasung im gedämmten Rahmen) führt neben der oben schon dargestellten Belegung der Modelleingangsvariablen für Scheibenzahl, Wärmeschutzverglasung und Rahmenmaterial zur Belegung des fünften, zusätzlichen Code-Segments "Insulation". Wird im Fragebogen eine entsprechende Eingabe vorgenommen, ist also auch der vollständige Code des Fensters unabhängig von anderen Eingaben gesetzt auf: "3.LowE.-.-.Insulation"

RR 20: Code_U_Class_WindowType1_FrameMaterial – TABULA-Code-Segment als Indikator für Passivhaus-Fenster
(identische Rechenregel für WindowType2)

Code_U_Class_WindowType1_Further	= IF	Indicator_PassiveHouseWindow_WindowType1 = 1			
		THEN	"Insulation"		
		ELSE	"-"		

³⁸ Dieses Code-Segment wurde auf Grund der unterschiedlichen Wärmeschutzverglasungen europäischer Länder im TABULA-Projekt eingeführt [TABULA Data Eval 2015]. Die als Quelle für die Pauschalwerte verwendete Statistik der Verbände der Fenster- und der Glasindustrie enthält keine Angaben zur Art der Gas-Füllung (siehe Anhang C.6.2).

Die oben dargestellten Rechenregeln gelten wie erwähnt auch für den zweiten Fenstertyp. Gibt es einen zweiten Fenstertyp ohne dass ein Flächenanteil eingetragen wurde, so wird ein Pauschalwert von 30% angenommen. Vom Vorhandensein eines zweiten Fenstertyps wird ausgegangen, wenn die Anzahl der Scheiben eingetragen wurde oder der zertifizierte Fenster-U-Wert bekannt ist.

RR 21: f_Measure_Window_1 – Anteil des zweiten Fenstertyps (rechentechnisch behandelt als Maßnahme) der Fensterfläche 1
(Die zweite Fensterfläche Windows_2 wird in der Energiebilanz nicht verwendet)

f_Measure_Window_1	= IF	f_Area_WindowType2 = #N/A			
		THEN	IF	AND	
				Code_NumberPanels_WindowType2 = "_NA_"	
				U_w_Certified_WindowType2 = #N/A	
				THEN	0%
				ELSE	30%
		ELSE	f_Area_WindowType2		

Der zweite Fenstertyp wird bei Verwendung der Energieprofil-Hüllflächenschätzung als modernisierter Bereich von "Window_1" betrachtet. "Window_2" wird hier nicht verwendet (siehe Abschnitt D.1.6).

Der mittlere U-Wert der Fenster wird nun wie folgt ermittelt:

RR 22: U_Actual_Window_1 und U_Actual_Window_2 – mittlerer Fenster-U-Wert

U_Actual_Window_1 [W/(m²K)]	=	(1 - f_Measure_Window_1) * U_Original_Window_1 + f_Measure_Window_1 * U_Measure_Window_1
U_Actual_Window_2 [W/(m²K)]	=	0

Die U-Werte der zwei Fenster-Typen werden über Fenster-Codes identifiziert, die sich aus den oben beschriebenen Teil-Codes zusammensetzen (RR 23). Die pauschalen Fenster-U-Werte werden abhängig von dem Code und der Baualtersklasse der Fenster der entsprechenden Tabelle entnommen (Pauschalwert-Tabelle in Abschnitt D.3.2).

RR 23: Code_U_Class_WindowType1 – TABULA-Code für den Fenster-Typ
(identische Rechenregel für WindowType2)

Code_U_Class_WindowType1	= Code_U_Class_WindowType1_nPane & "." & Code_U_Class_WindowType1_LowE & "." & Code_U_Class_WindowType1_FrameMaterial & "." & Code_U_Class_WindowType1_GasFilling & "." & Code_U_Class_WindowType1_Further
Code_U_Class_WindowType2	= { analog zu oben }
U_Window_Original_1 [W/(m²K)]	= U_Window_Period (Code_U_Class_WindowType1, Year_Installation_WindowType1_Calc)
U_Measure_Window_1 [W/(m²K)]	= U_Window_Period (Code_U_Class_WindowType2, Year_Installation_WindowType2_Calc)
U_Window_Original_2 [W/(m²K)]	= 0
U_Measure_Window_2 [W/(m²K)]	= 0

D.1.7 Eingabedaten für die Berücksichtigung von Wärmebrücken

Eine explizite Charakterisierung der Wärmebrücken erfolgt nur im Expertenteil des Fragebogens (siehe folgendes Bild).

Bild 77: Ausschnitt aus dem Energieprofil-Fragebogen – Erhebungsgrößen für die Einordnung von Wärmebrücken

Fragebogen-Hauptteil

Thermische Hülle (nicht-transparente Elemente)

	Konstruktionsart		Dämmung						Dämmstärke	cm	% der Fläche	%
	massiv	Holz	keine	original	Modernisierung	keine Angabe / unbekannt	Jahr der Modernisierung	Innendämmung der Wände				
Dach	☒	☐	☐	☐	☒	☐	2016		40	cm	100	%
oberste Geschossd.	☒	☐	☐	☐	☐	☒	1986		#N/A	cm	#N/A	%
Außenwände	☒	☐	☐	☐	☒	☐	#N/A	☐	20	cm	100	%
Fußboden	☒	☐	☒	☐	☐	☐	#N/A		0	cm	0	%

bei ungedämmten Außenwänden:
Dämmung von außen möglich?

☐ ja
 ☐ teilweise
 ☐ nein
 ☒ k.A. / unbekannt

Zusätzlicher Expertenteil

Wärmebrücken

Anhaltspunkte für Einordnung: zusätzliche Transmissionswärmeverluste, wenn bekannt
 Werte in $[W/m^2K]$, bezogen auf Hüllfläche, Werte basieren auf Außenmaß

☐ minimal $\leq 0,01$ keine Durchdringungen der Hüllfläche mit Bauteilen deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten ohne Stahl- oder Beton-Elemente; (2) Best-Practice-Neubauten mit minimierten Wärmebrücken
☐ sehr gering $> 0,01 \text{ \& } \leq 0,03$ keine relevanten Durchdringungen der Hüllfläche mit Bauteilen deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten mit nur wenig Stahl- oder Beton-Elementen; (2) Best-Practice-Modernisierungen mit minimierten Wärmebrücken
☐ gering $> 0,03 \text{ \& } \leq 0,07$ nur geringfügige Durchdringungen von Dämmschichten
☐ mittel $> 0,07 \text{ \& } \leq 0,12$ relevante konstruktive Wärmebrücken; z.B. Innendämmung in Gebäuden mit Holzbalkendecken
☐ hoch $> 0,12$ sehr relevante konstruktive Wärmebrücken; z.B. Beton durchdringt Dämmebene
☒ k.A. keine Angaben / unbekannt

Low = verwendet in der Berechnung

Falls keine direkten Eingaben vorliegen, wird eine grobe Einstufung entsprechend der Informationen zur Wärmedämmung vorgenommen (siehe folgende Rechenregel):

- Für den Fall, dass die Außenwanddämmung bei der Errichtung des Gebäudes angebracht wurde und die Dämmstärke größer als 10 cm ist, wird davon ausgegangen, dass im Regelfall konstruktive Wärmebrücken vermieden wurden, so dass eine Einstufung in „Minimal“ erfolgt (Zuschlag derzeit 0,00 W/(m²K)).
- Für den Fall, dass die Außenwanddämmung eine Modernisierung des Gebäudes angebracht wurde und die Dämmstärke größer als 10 cm ist, erfolgt eine Einstufung in „Medium“ erfolgt (Zuschlag derzeit 0,10 W/(m²K)).
- Sind die Außenwände ganz oder teilweise mit einer Innendämmung versehen, erfolgt eine Einstufung „High“ (Zuschlag derzeit 0,15 W/(m²K)). Um dies auch für die Berechnung von möglichen Modernisierungsvarianten nutzen zu können, wird hierzu auch die Information verwendet, dass keine Außenwanddämmung angebracht werden kann.
- In allen anderen Fällen erfolgt die Einstufung in „Low“ (Zuschlag derzeit 0,05 W/(m²K)).

Die als Wärmebrückenzuschlag verwendeten Pauschalwerte sind in Abschnitt D.3.3 tabelliert.

RR 24: Code_ThermalBridging_Calc – TABULA-Code für den Wärmebrücken-Typ

Code_Thermal_Bridging_Calc	= IF	Code_ThermalBridging = "_NA_"						
		THEN	IF	AND	OR	Indicator_InternalWallInsulation = 1		
						Code_Potential_ExternalWallInsulation = "NotPossible"		
					d_Insulation_Calc > 0,01 m			
					f_Insulation_Calc > 0,5			
				THEN	"High"			
			ELSE	AND	Code_InsulationType_Wall_Calc = "Original"			
					d_Insulation_Wall_Calc > 0,10 m			
					f_Insulation_Wall_Calc = 1,0			
				THEN	"Minimal"			
				ELSE	IF	AND	Code_Insulation-Type_Wall_Calc = "Refurbish"	
							d_Insulation_Calc > 0,10 m	
							f_Insulation_Calc > 0,5	
						THEN	"Medium"	
ELSE	"Low"							
ELSE	Code_ThermalBridging							

Die Codes für die Erhebungsgrößen Code_ThermalBridging_Calc sind "Minimal", „VeryLow“, "Low", "Medium", und "High" (siehe Tab. 54).

D.2 Zuordnung zu den Bauteilarten (TABULA-Energiebilanzverfahren)

Die Mechanismen für die Behandlung unvollständiger oder fehlender Angaben für opake Bauteile wurden bisher allgemeingültig dargestellt. An dieser Stelle soll der Bezug zu den Bauteiltypen hergestellt werden. Da die MOBASY-Realbilanzierung bezüglich der Energiebilanz auf dem TABULA-Verfahren [TABULA Calc Method 2012] aufbaut, werden die Bauteile entsprechend der dort verwendeten Systematik definiert. Die folgende Tabelle zeigt die Zuordnung der Erhebungsgrößen den TABULA-Energiebilanz-Eingangsvariablen.

Tab. 48: Überblick Zuordnung Bauteile

Bezeichner für Energiebilanz-Eingangsvariablen	Standard-Zuordnung Bauteil	Vereinfachung bei Nutzung Energieprofil-Flächenschätzverfahren	Bezeichner für Erhebungsgrößen
Roof_1	Dachflächen		Roof
Roof_2	oberste Geschossdecke		Ceiling
Wall_1	Außenwand		Wall
Wall_2	Wand gegen Erdreich		
Wall_3	Wand gegen Keller	nicht verwendet / in Wall_2 enthalten	
Floor_1	Fußboden gegen Keller		Floor
Floor_2	Fußboden gegen Erdreich	nicht verwendet / in Floor_1 enthalten	
Window_1			Window
Window_2		nicht verwendet / zweiter Fenstertyp ist als modernisierter Flächenanteil in Window_1 enthalten	
Door_1			

D.3 Pauschalwerte für die Ermittlung der U-Werte

D.3.1 Opake Bauteile

Sind das Jahr bzw. der Zeitraum der Errichtung des Gebäudes oder der Ausführung einer vorgefundenen Wärmeschutzmodernisierung nicht bekannt, so werden die folgenden Pauschalwerte verwendet. Das relativ weit zurückliegende Pauschaljahr der Modernisierung berücksichtigt, dass für länger zurückliegende Modernisierungen die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass das Jahr oder der Zeitraum der Modernisierung unbekannt ist.

Tab. 49: Konstanten zur Nutzung als Pauschalwerte für die Berechnung

Konstante	Beschreibung	Wert	Anmerkung
Year_Building_NA	Pauschalwert zur Verwendung bei unbekannter Erhebungsgröße Year_Building	1963	mittleres Jahr der mittleren Baualtersklasse von bis 1994 errichteten Wohngebäuden in Deutschland (siehe Anhang C.1.3)
Year_Refurbishment_Constr_NA	Pauschalwert zur Verwendung bei unbekannter Erhebungsgröße Year_Refurbishment_Constr sofern Angaben zu einer energetischen Modernisierung des Bauteils gemacht werden	1995	Ansatzwert ohne Herleitung ³⁹

Die folgende Tabelle zeigt die in den Formeln von Abschnitt D.1.2 verwendeten Pauschalwerte für unsanierte Bauteile für die verschiedenen opaken Bauteilarten. Die Herleitung ist in Anhang C.1 beschrieben. Die Standardwerte für die Unsicherheit der U-Wert-Schätzung bei der Anwendung der Werte für ein einzelnes Gebäude finden sich in Abschnitt D.4.

³⁹ Es wird ein vergleichsweise weit zurückliegendes Jahr angesetzt, da für jüngere Maßnahmen tendenziell der Ausführungszeitraum besser bekannt ist.

Tab. 50: Pauschalwerte "U_Class_NA"⁴⁰, "U_Class_Massive" und "U_Class_Wooden", differenziert nach Bauteilart und Konstruktionsweise

Baualter- klasse Gebäude		Pauschale U-Werte für die verschiedenen Bauteiltypen und -arten der TABULA-Berechnung [W/(m²K)]											
		U_Class_...											
		Dach			oberste Geschossdecke			Außenwand			Fußboden / Kellerdecke		
Year_Building_Calc		Roof_1			Roof_2			Wall_1, Wall_2, Wall_3			Floor_1, Floor_2		
		NA	Massive	Wooden	NA	Massive	Wooden	NA	Massive	Wooden	NA	Massive	Wooden
von	bis	unbe- kannt	massiv	Holz	unbe- kannt	massiv	Holz	unbe- kannt	massiv	Holz	unbe- kannt	massiv	Holz
	1859	2,00	2,00	2,00	1,10	1,30	1,00	1,70	1,70	1,90	1,20	1,20	1,00
1860	1918	2,00	2,00	2,00	1,10	1,30	1,00	1,70	1,70	1,90	1,20	1,20	1,00
1919	1948	2,00	2,00	2,00	1,10	1,30	1,00	1,50	1,50	1,50	1,20	1,20	1,00
1949	1957	1,60	1,20	1,60	1,10	1,30	1,00	1,30	1,30	1,30	1,20	1,20	1,00
1958	1968	1,20	1,00	1,20	1,10	1,30	0,80	1,20	1,20	0,80	1,20	1,20	0,80
1969	1978	0,80	0,60	0,80	0,90	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60
1979	1983	0,60	0,50	0,60	0,60	0,70	0,50	0,80	0,80	0,50	0,80	0,80	0,60
1984	1994	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,70	0,70	0,40	0,60	0,60	0,40
1995	2001	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,30	0,40	0,40	0,40
2002	2009	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,24	0,24	0,24
2010	2015	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
2016		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,20

Status: 29-05-2020

Tab. 51: Pauschalwerte "f_Measure_Default" für die Ermittlung von "f_Insulation_Calc" bei Konstruktionen mit Wärmeschutzmodernisierung und unbekanntem Flächenanteil und für Konstruktionen ohne Information, ob eine Modernisierung stattgefunden hat; differenziert nach Bauteiltyp

		pauschale Flächenanteile der Dämmung für die verschiedenen Bauteiltypen			
		f_Measure_Default			
		Dach	oberste Geschossdecke	Außenwand	Fußboden / Kellerdecke
Bauteiltyp Erhebung		Roof	TopCeiling	Wall	Floor
Bauteiltyp Berechnung		Roof_1	Roof_2	Wall_1, Wall_2, Wall_3	Floor_1, Floor_2
		Wärmeschutzmodernisierung liegt vor, Flächenanteil ist unbekannt			
		0,90	0,90	0,75	0,80
Gebäude errichtet		unbekannt, ob es eine Wärmeschutzmodernisierung gab			
Year_Building_Calc					
von	bis	Ein- und Zweifamilienhäuser			
	1978	0,53	0,53	0,26	0,13
1979		0,00	0,00	0,00	0,00
		Mehrfamilienhäuser			
	1978	0,62	0,62	0,37	0,19
1979		0,00	0,00	0,00	0,00

Status: 27-05-2020

⁴⁰ In der Excel-Tabelle "Tab.U.Class.Constr" der "tabula-values.xlsx" heißt das Feld "U_Class_..._Default" (Kompatibilität zum TABULA WebTool)

RR 25: Ermittlung des Einbautyps der nachträglichen Wärmedämmung als Grundlage für die Pauschalwerte für die nominale Dämmstärke und die effektive Wärmeleitfähigkeit der Wärmeschutzmaßnahme in Tab. 52

Code_InstallationType_Insulation_Roof_Default	= IF	AND	Code_Attic_Cond_Calc		
			NOT	Indicator_Constr_Massive_Calc = 1	
		THEN	"FlatRoofMassive"		
		ELSE	"AppliedBetweenRafters"		
Code_InstallationType_Insulation_Ceiling_Default	=		"TopCeiling"		
Code_InstallationType_Insulation_Wall_Default	= IF	Indicator_InternalWallInsulation = 1			
		THEN	"Wall_internal"		
		ELSE	"Wall_External"		
Code_InstallationType_Insulation_Floor_Default	=		"BorderingCellar"		

Tab. 52: Pauschalwerte "d_Insulation_Default" für die Ermittlung von "d_Insulation_Calc" bei Konstruktionen mit unbekannter Erhebungsgröße "d_Insulation" differenziert nach Bauteiltyp und Art des Bauteils sowie nach dem Zeitraum der Modernisierung bzw. des Einbaus der Dämmung / zugeordnete Pauschalwerte der Wärmeleitfähigkeit "Lambda_Default"

Bauteiltyp		Dach		oberste Ge- schossdecke	Außenwand		Wand gegen Keller oder Erdreich	Fußboden / Kellerdecke
Kategorie Erhebung		Roof		TopCeiling	Wall			Floor
Kategorie Berechnung		Roof_1	Roof_1	Roof_2	Wall_1	Wall_1	Wall_2, Wall_3	Floor_1, Floor_2
Bauteilart bzw. Art der Dämmung		Holzkon- struktion	Massivdach		Außendäm- mung oder unbekannt	Innendäm- mung		
Kategorie		Wooden	Massive		(ELSE)	Indicator_ InternalWall Insulation = 1		
Jahr der Dämmung		pauschale Dämmstoffstärken [cm]						
Year_Refurbishment_Constr_Calc		d_Insulation_Default						
von	bis	d_Insula- tion_Default_Ap- pliedBetweenRafters	d_Insula- tion_Default_FlatRo- ofMassive	d_Insula- tion_Default_TopCei- ling	d_Insula- tion_Default_Wall_E xternal	d_Insula- tion_Default_Wall_In ternal	d_Insula- tion_Default_Borderi ngCellar	d_Insula- tion_Default_Borderi ngSoil
	1968	1	1	1	1	1	1	1
1969	1978	5	4	4	2	1	1	1
1979	1983	8	6	6	3	2	2	2
1984	1994	10	9	9	5	3	4	4
1995	2001	12	12	12	8	4	7	7
2002	2009	14	13	13	10	5	8	8
2010	2015	15	14	14	12	6	8	8
2016	9999	18	15	15	12	6	10	10
Jahr der Dämmung		Pauschalwerte der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes [W/(m·K)]						
Year_Refurbishment_Constr_Calc		Lambda_Insulation_Default						
von	bis	Lambda_Insula- tion_Default_Ap- pliedBetweenRafters	Lambda_Insula- tion_Default_FlatRo- ofMassive	Lambda_Insula- tion_Default_TopCei- ling	Lambda_Insula- tion_Default_Wall_E xternal	Lambda_Insula- tion_Default_Wall_In ternal	Lambda_Insula- tion_Default_Borderi ngCellar	Lambda_Insula- tion_Default_Borderi ngSoil
	1968	0,065	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
1969	1983	0,060	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
1984	2001	0,055	0,035	0,040	0,040	0,040	0,040	0,035
2002		0,045	0,030	0,035	0,035	0,035	0,035	0,030

Status: 28-05-2020

D.3.2 Fenster

Die für Fenster entsprechend den vorliegenden Informationen verwendeten pauschalen U-Werte zeigt die folgende Tabelle. Die Codes für die Variablen in den ersten vier Spalten werden gemäß den in Abschnitt D.1.6 dokumentierten Rechenregeln aus den Monitoring-Indikatoren hergeleitet. Die Herleitung der Zahlenwerte ist in Anhang C.6 dokumentiert.

Tab. 53: Pauschale Fenster-U-Werte differenziert nach Anzahl der Scheiben, dem Vorhandensein von Wärmeschutzverglasung und dem Rahmen (TABULA-Code-System) / Werte für mittlere Fenstergrößen (Verglasung, Rahmen und Randverbund / Herleitung siehe Anhang C.6)

Anzahl Schei- ben	Wärme- schutzver- glasung	Rahmenmate- rial	Zusatz-In- dikator	Einbaujahr								
				Year_Installation_WindowType_Calc								
				un- bekannt	... 1968	1969 ... 1978	1979 ... 1983	1984 ... 1994	1995 ... 2001	2002 ... 2009	2010 ... 2015	2016 ...
				Index_Period_ConstructionYear								
				NA	1 ... 5	6	7	8	9	10	11	12
				U-Werte [W/(m²K)]								
Code_Win- dowType _nPane	Code_Window Type_LowE	Code_WindowType _FrameMaterial	Code_Window Type_Further	U_Window_Period								
-	-	-	-	2,4	3,7	3,7	3,0	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1
1	-	-	-	5,2	4,5	5,2	4,9	4,7	4,6	4,5	4,4	4,4
		Wood	-	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4
		Plastic	-	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,5	4,4	4,4	4,4
		Metal	-	6,2	6,2	6,2	5,7	5,0	4,9	4,7	4,5	4,4
		WoodMetal	-	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4
2	-	-	-	2,3	2,4	3,1	3,0	2,7	1,9	1,5	1,3	1,3
		Wood	-	2,3	2,4	2,4	2,7	2,6	1,8	1,5	1,4	1,3
		Plastic	-	2,1	2,6	2,6	2,8	2,6	1,8	1,4	1,3	1,3
		Metal	-	2,9	4,1	4,1	3,8	3,0	2,2	1,7	1,4	1,3
		WoodMetal	-	1,8	2,6	2,6	2,6	2,6	1,8	1,5	1,3	1,3
	NoCoating	-	-	2,9	2,4	3,1	3,0	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6
		Wood	-	2,6	2,4	2,4	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
		Plastic	-	2,7	2,6	2,6	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6
		Metal	-	3,6	4,1	4,1	3,8	3,1	3,0	2,8	2,8	2,8
		WoodMetal	-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
	LowE	-	-	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,7	1,5	1,3	1,3
		Wood	-	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,4	1,3
		Plastic	-	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3
		Metal	-	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,7	1,4	1,3
		WoodMetal	-	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,3
3	-	-	-	1,1	1,7	2,3	2,2	2,0	1,3	1,2	1,0	1,0
		Wood	-	1,1	1,7	1,7	1,9	1,9	1,2	1,2	1,1	1,1
		Plastic	-	1,0	1,9	1,9	2,1	2,0	1,2	1,1	1,0	1,0
		Metal	-	1,1	3,4	3,4	3,1	2,4	1,6	1,3	1,1	1,0
		WoodMetal	-	1,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,2	1,2	1,0	1,0
	NoCoating	-	-	2,0	1,7	2,3	2,2	2,0	2,0	1,9	1,7	1,7
		Wood	-	1,8	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
		Plastic	-	1,9	1,9	1,9	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7
		Metal	-	2,4	3,4	3,4	3,1	2,4	2,3	2,0	1,8	1,7
		WoodMetal	-	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,7
	LowE	-	-	1,1	1,0	1,7	1,6	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0
		Wood	-	1,1	1,0	1,0	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
		Plastic	-	1,0	1,2	1,2	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
		Metal	-	1,1	2,7	2,7	2,4	1,7	1,6	1,3	1,1	1,0
		WoodMetal	-	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
		-	Insulation	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

"-": Information nicht vorhanden

D.3.3 Bauteilanschlüsse / Wärmebrücken

Tab. 54: Pauschalwerte für die Wärmebrückenzuschläge gemäß TABULA-Verfahren

TABULA Code	Bezeichnung	Pauschalwert	Zuordnung wenn detaillierte Wärmebrücken- berechnung vor- liegt	Anwendungsfälle
Code_ThermalBridging		delta_U_ThermalBridging		
		W/(m²K)	W/(m²K)	
Minimal	minimal	0	$\leq 0,01$	keine Durchdringungen der Hüllfläche mit Elementen deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten ohne Stahl- oder Beton-Elemente; (2) Best-Practice-Neubauten mit minimierten Wärmebrücken
VeryLow	sehr gering	0,02	$> 0,01 \text{ \& } \leq 0,03$	keine relevanten Durchdringungen der Hüllfläche mit Elementen deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit; z.B.: (1) unsanierte Altbauten mit nur wenig Stahl- oder Beton-Elementen; (2) Best-Practice-Modernisierungen mit minimierten Wärmebrücken
Low	gering	0,05	$> 0,03 \text{ \& } \leq 0,07$	nur geringfügige Durchdringungen von Dämmschichten
Medium	mittel	0,1	$> 0,07 \text{ \& } \leq 0,12$	relevante konstruktive Wärmebrücken; z.B. Innendämmung in Gebäuden mit Holzbalkendecken
High	hoch	0,15	$> 0,12$	sehr relevante konstruktive Wärmebrücken; z.B. Beton durchdringt Dämmebene
NA	k.A.	#N/A		keine Angaben / unbekannt

D.4 Unsicherheit der U-Werte

Die U-Werte für opake, gegebenenfalls nachträglich gedämmte Bauteile und für Fenster unterschiedlicher Bauart werden entsprechend den Rechenregeln in Abschnitt D.1 bestimmt, die für die verschiedenen Fälle und Baualtersklassen vorgesehenen Pauschalwerte als Grundlage der Ermittlung sind in Abschnitt D.2 dokumentiert. Gibt es für eine Eingangsgröße keine Angaben, so wird bei der MOBASY-Realbilanzierung ein Schätzwert (Pauschalwert, typischer Wert) verwendet, der eine deutlich größere Unsicherheit aufweist. Darüber hinaus muss auch bei einer vorhandenen Angabe berücksichtigt werden, dass deren Unsicherheit von der Art der Datenquelle abhängt: Beispielsweise hat die während einer Modernisierungsplanung festgelegte und auf der Baustelle überprüfte Dämmstoffdicke eine erheblich geringere Unsicherheit als der bei der nachträglichen Datenaufnahme vor Ort mit ihren Hindernissen für eine genaue Messung ermittelte Wert. Das im Folgenden dargestellte Konzept ist ein erster Ansatz für die Quantifizierung der Gesamtunsicherheit von Bauteil-U-Werten bei Bestandsgebäuden, in den neben statistischen Daten auch einige Expertenschätzungen einfließen. Die Herleitung der Formeln und Tabellenwerte ist in Anhang C.5 dokumentiert. In zukünftigen Forschungsarbeiten sollte sicherlich eine weitere Absicherung des Verfahrens und der Datengrundlage angestrebt werden.

D.4.1 Erfassung der Datenquellen

Für die MOBASY-Realbilanz wird die Art der Datenquelle entsprechend dem in Bild 78 dargestellten Schema erfasst. Dabei können die Angaben für die thermische Hülle entweder global zugeordnet werden (z.B. im Fall einer Vor-Ort-Erhebung) oder jeweils einzeln (z.B. im Fall der qualitätsgesicherten Planung einer Teilmodernisierung).

Bild 78: Auszug aus dem Energieprofil-Fragebogen (Einstellungen) – Schema der Erfassung der Datenquellen

Gebäudehülle	Planungsdaten + Qualitätssicherung	Planungsdaten (z.B. Energieausweis)	Vor-Ort-Erhebung (Begehung) oder Foto-Dokumentation	Akten / Angaben Gebäude-eigentümer	keine Datenquelle	keine Information über die Datenquelle
alternativ: gesamt oder einzeln						
☒ Gebäudehülle gesamt	☐	☐	☒	☐	☐	☐
☐ Einzelangaben Gebäudehülle						
Fläche der Hülle	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmedurchlässigkeit Gebäudehülle						
Dach / ob. Geschossdecke	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Außenwand	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fenster	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Fußboden / Kellerdecke	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Wärmebrücken	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Je Bauteil erfolgt also zunächst eine Zuordnung der Art der Datenquelle aus der globalen oder der bauteilbezogenen Angabe:

RR 26: Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc – Klassifizierung der Datenqualität abhängig von der globalen oder Bauteil-bezogenen Bewertung; Ermittlung für "Roof", "Walls", "Windows", "Floor " entsprechend der Differenzierung der Qualität der Datenquellen

Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc	Code_TypeDataSources_EnvelopeGlobal = "Global"		
	= IF	THEN	Code_TypeDataSources_EnvelopeLevel
		ELSE	Code_TypeDataSources_ThermalTransmittance_<Constr>

<Constr> = { Roof, Walls, Windows, Floor }

Nach dem gleichen Schema erfolgt die Zuordnung bei den Wärmebrücken:

RR 27: Code_TypeDataSources_ThermalBridging_Calc – Klassifizierung der Datenqualität abhängig von der globalen oder Bauteil-bezogenen Bewertung

Code_TypeDataSources_ThermalBridging_Calc	Code_TypeDataSources_EnvelopeGlobal = "Global"		
	= IF	THEN	Code_TypeDataSources_EnvelopeLevel
		ELSE	Code_TypeDataSources_ThermalBridging

D.4.2 Unsicherheit der U-Werte opaker Konstruktionen

Einstufung der Eingangsgrößen für die Berechnung

Die Einordnung der pauschalen U-Wert-Angabe unsanierter Bauteile gibt Rechenregel RR 28 wieder. Entsprechend der im Anhang C.1 dargestellten Analyse findet sich die größte relative Streuung der U-Werte bei den unsanierten Altbauten, ihre pauschalen U-Werte werden in die Unsicherheitsklasse "D" eingestuft, die der jüngeren Baualtersklassen in "C" und "B". Ist das Baualter des Gebäudes unbekannt, erfolgt ja entsprechend der Regel in Abschnitt D.1.2 eine Zuordnung des pauschalen U-Wertes eines mittleren (bzw. häufigen) Baujahrs `Year_Building_NA` – die Unsicherheit ist damit am größten, weshalb eine Einordnung in die Klasse "E" erfolgt.

Klasse "A" kann im Prinzip erreicht werden, wenn der U-Wert der (nicht zusätzlich gedämmten) Konstruktion bei bekannten Materialien berechnet wurde. In der Rechenregel ist dieser Fall jedoch nicht enthalten, da hier ein anderer Satz von Datenfeldern benutzt wird.⁴¹

Die zugeordneten Zahlenwerte für die relativen Unsicherheiten finden sich in Tab. 55.

RR 28: `Code_Uncertainty_U_Original` – Klassifizierung der Unsicherheit des Ausgangs-U-Werts; ohne Differenzierung nach Bauteilart, da es nur eine Angabe zum Baualter des Gebäudes gibt

Code_ Uncertainty_ U_Original	Year_Building = #N/A					
	= IF	THEN	"E"			
		ELSE	IF	Year_Building >= 1995		
				THEN	"B"	
				ELSE	Year_Building >= 1983	
					THEN	"C"
					ELSE	"D"

⁴¹ Liegen die Daten einer Neubau- oder Modernisierungsplanung im Detail vor, kann die alternative manuelle Eingabe von Flächen und U-Werten verwendet werden (siehe Abschnitt. Die Zuordnung von Unsicherheiten erfolgt dann zu den entsprechenden Variablen direkt über die Einordnung der Datenquellen (Werte in der ersten Zeile von Tab. 55).

Rechenregel RR 29 gibt die Einstufung der Unsicherheiten für Werte des gedämmten Flächenanteils wieder. Die zugeordneten Zahlenwerte für die absoluten Unsicherheiten finden sich in Tab. 55. Als Besonderheit ist zu beachten ist, dass der Flächenanteil, also auch der obere und untere Wert der Spanne nicht kleiner als 0 und nicht größer als 1 sein darf.⁴² Wenn also beispielsweise die Datenerhebung vor Ort eine vollständige Wärmeschutz-Modernisierung des Bauteils ergibt, wird dem Flächenanteil vereinfachend die Unsicherheit +/- 0 zugeordnet.⁴³

Sind keine Informationen über eine möglicherweise erfolgte Wärmeschutz-Modernisierung vorhanden, wird entsprechend dem in Abschnitt D.1.4 dargestellten Schema der mittlere Modernisierungszustand des deutschen Wohngebäudebestands angesetzt. Die Unsicherheit des gedämmten Flächenanteils ist relativ groß, so dass eine Einordnung in die schlechteste Klasse "E" erfolgt. Wenn der Flächenanteil im Rahmen einer Vor-Ort-Begehung ermittelt wurde oder es sich um eine Angabe des Gebäudeeigentümers handelt, wird die Unsicherheit in Klasse "C" eingestuft. Eine Einstufung in "D" erfolgt für den Fall, dass eine Wärmeschutz-Modernisierung vorliegt, aber kein Flächenanteil eingetragen wird (Tab. 50). Handelt es sich um einen Wert aus der Modernisierungsplanung, erfolgt eine Einordnung in Klasse "B". Wurde die Umsetzung im Rahmen einer Qualitätssicherung überwacht, erfolgt eine Einordnung in "A".

RR 29: **Code_Uncertainty_f_Insulation** – Klassifizierung der Unsicherheit des Flächenanteils der Dämmung

Code_ Uncertainty_ f_Insulation_ <Constr>	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "NoDataSource"								
	THEN		"D"						
	= IF	ELSE	IF	f_Insulation_<Constr> = #N/A					
				THEN	IF	OR	d_Insulation_<Constr> > 0		
							Code_InsulationType_<Constr> = "Refurbish"		
					THEN	"D"			
					ELSE	"E"			
				ELSE	IF	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignDataPlusQA"			
						THEN	"A"		
						ELSE	IF	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignData"	
								THEN	"B"
								ELSE	"C"

<Constr> = { Roof, Ceiling, Wall, Floor }

⁴² Dies ist ein pragmatischer Ansatz, der einem sehr vereinfachten mathematischen Modell entspricht. Anschaulich bedeutet dies, dass der Flächenanteil der Wärmedämmung bei einer Teilmodernisierung schwerer geschätzt werden kann als bei einer Vollmodernisierung.

⁴³ Daraus folgt für die Datenerhebung, dass bei Unklarheiten bezüglich der Vollständigkeit nicht einfach 100% in den Fragebogen eingetragen werden sollte, sondern ein Wert, der zwischen einer pessimistischen und einer optimistischen Einschätzung der gegebenen Situation liegt.

Die Unsicherheiten der Rechenwerte für die Dämmstoffstärke und die Wärmeleitfähigkeit werden in gleicher Weise behandelt (RR 30 und RR 31). Im Fall einer Modernisierungsplanung erfolgt eine Einstufung der Unsicherheit in Klasse "B" für Daten aus der Planung ohne und in Klasse "A" für Daten aus der Planung mit Qualitätssicherung. Stammen die Angaben aus der Vor-Ort-Erhebung oder aus den Unterlagen des Gebäudeeigentümers, wird Klasse "C" zugeordnet. Gibt es keine Angaben außer dem Modernisierungsjahr, so wird dem dann entsprechend Tab. 52 verwendeten Pauschalwert die Unsicherheitsklasse "D" zugeordnet. Gibt es gar keine Angaben, erfolgt die Einstufung in "E".

Die zugeordneten Zahlenwerte für die relativen und absoluten Unsicherheiten finden sich in Tab. 55.

RR 30: Code_Uncertainty_d_Insulation – Klassifizierung der Unsicherheit der Dämmstoffdicke

Code_Uncertainty_d_Insulation_<Constr>	OR	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "NoDataSource"			
		d_Insulation_<Constr> = #N/A			
	= IF	THEN	IF	Year_Refurbishment_<Constr> = #N/A	
				THEN	"E"
				ELSE	"D"
		ELSE	IF	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignDataPlusQA"	
				THEN	"A"
				ELSE	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignData"
				THEN	"B"
				ELSE	"C"

<Constr> = { Roof, Ceiling, Wall, Floor }

RR 31: Code_Uncertainty_Lambda_Insulation – Klassifizierung der Unsicherheit der Wärmeleitfähigkeit

Code_Uncertainty_Lambda_Insulation_<Constr>	OR	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "NoDataSource"			
		Lambda_Insulation_<Constr> = #N/A			
	= IF	THEN	IF	Year_Refurbishment_<Constr> = #N/A	
				THEN	"E"
				ELSE	"D"
		ELSE	IF	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignDataPlusQA"	
				THEN	"A"
				ELSE	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignData"
				THEN	"B"
				ELSE	"C"

<Constr> = { Roof, Ceiling, Wall, Floor }

Unabhängig vom Energieprofil-Fragebogen können im Verfahren auch vorberechnete U-Werte verwendet werden. Hierfür steht ein gesondertes Erfassungsblatt zur Verfügung (siehe Anhang B.3.3). Die Klassifizierung der Unsicherheit dieser Angaben erfolgt in analoger Weise wie bei Eingabe der Monitoring-Indikatoren (siehe oben) direkt auf der Grundlage der Art der Datenquelle (Rechenregel RR 32). Im Fall der Klasse D würde es sich bei dem manuell eingetragenen Wert nicht um eine konkrete U-Wert-Berechnung handeln, sondern um eine Zuordnung auf der Grundlage einer Kategorisierung nach Baualter und anderen Merkmalen.

RR 32: Code_Uncertainty_U_InputManual – Klassifizierung der Unsicherheit bei direkter Eingabe

Code_ Uncertainty_ U_ InputManual_ <Constr> =	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "NoDataSource"								
	IF	THEN	"E"						
		ELSE	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignDataPlusQA"						
			THEN	"A"					
			ELSE	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "DesignData"					
				THEN	"B"				
				ELSE	IF	Code_TypeDataSources_ThermalTr_<Constr>_Calc = "InspectionOnSite"			
						THEN	"C"		
						ELSE	"D"		

<Constr> = { Roof, Walls, Windows, Floor }

Zahlenwerte für die Unsicherheiten der Eingangsgrößen

Die folgende Tabelle gibt die den fünf Unsicherheitsklassen zugeordneten Zahlenwerte der Unsicherheit wieder. Die Herleitung ist für die verschiedenen Größen in Anhang C dokumentiert. Für die Dämmstoffstärke $d_{\text{Insulation}}$ sind sowohl relative als auch absolute Unsicherheiten angegeben – verwendet wird das jeweilige Minimum der beiden resultierenden cm-Beträge. Für den Flächenanteil $f_{\text{Insulation}}$ muss die oben beschriebene Einschränkung für nahe 0 und nahe 1 liegende Flächenanteile beachtet werden.

Tab. 55: Quantifizierung der Unsicherheiten der fünf Unsicherheitsklassen je Eingangsvariable des effektiven U-Wertes (alle Bauteile) / bei Kombination aus relativer und absoluter Unsicherheit wird der effektiv kleinere Wert verwendet

Energy balance input quantity	relative Unsicherheit der Variablen					absolute Unsicherheit der Variablen					
	Unsicherheitsklasse					Einheit	Unsicherheitsklasse				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
U_PreCalc	5%	10%	20%	30%	50%						
U_Original_Class	10%	20%	25%	30%	50%						
f_Insulation*							0,05	0,1	0,2	0,3	0,5
d_Insulation**	5%	10%	25%	40%	50%	cm	0,5	1,0	2,0	5,0	8,0
Lambda_Insulation	5%	10%	15%	20%	30%						

*) $f_{\text{Insulation}}$: Die (absolute) Unsicherheit darf $f_{\text{Insulation}}$ und $1 - f_{\text{Insulation}}$ nicht überschreiten.

**) $d_{\text{Insulation}}$: Das Minimum der sich aus den absoluten und relativen Angaben ergebenden cm-Beträge wird verwendet.

Status: 13-08-2020

Ermittlung der Gesamtunsicherheit des effektiven U-Wertes gedämmter Konstruktionen

Die Gesamtunsicherheit des für gedämmte Konstruktionen berechneten U-Wertes wird im MOBASY-Realbilanz-Modell für jedes opake Bauteil vereinfachend entsprechend den im Folgenden dargestellten Rechenregeln ermittelt (Datenfeld-Formeln; Herleitung und Formeln in physikalischer Schreibweise siehe Anhang C.5):

RR 33: Delta_U_Eff_Unc – Gesamtunsicherheit des für gedämmte Konstruktionen berechneten U-Wertes

Delta_U_Eff_Unc [W/(m²K)]	= SQRT (Delta_U_Eff_Unc_By_U_Original^2 + Delta_U_Eff_Unc_By_f_Insulation^2 + Delta_U_Eff_Unc_By_d_Insulation^2 + Delta_U_Eff_Unc_By_Lambda_Insulation^2)
------------------------------	--

Formel gilt für Bauteilarten <Constr> = { Roof_1, Roof_2, Wall_1, Wall_2, Wall_3, Floor_1, Floor_2 }; aus Gründen der Übersichtlichkeit ist der Platzhalter <Constr> in den Datenfeldnamen weggelassen (auch folgende Rechenregeln)

Die Beiträge der Unsicherheiten der einzelnen Größen $U_{\text{Original_Calc}}$, $f_{\text{Insulation_Calc}}$, $d_{\text{Insulation_Calc}}$ und $\lambda_{\text{Insulation_Calc}}$ sind in der folgenden Rechenregel spezifiziert. Es handelt sich jeweils um die Änderung des effektiven U-Wertes bei einer Auslenkung der Eingangsgröße um den durch die Unsicherheit bestimmten Wert (Erhöhung der Eingangsgröße geht als positives, Minderung als negatives Delta in die Formel ein – die resultierende Unsicherheit ist jeweils der Betrag dieser Werte).

RR 34: **Delta_U_Eff_Unc_By_U_Original | Delta_U_Eff_Unc_By_f_Insulation | Delta_U_Eff_Unc_By_d_Insulation | Delta_U_Eff_Unc_By_Lambda_Insulation** – Unsicherheit des für gedämmte Konstruktionen berechneten U-Wertes bedingt durch die Unsicherheit der Eingangsgrößen der Berechnung

Delta_U_Eff_Unc_By_U_Original [W/(m²K)]	$= (1 + f_Insulation_Calc \\ * (1 / (1 + d_Insulation_Calc / Lambda_Insulation_Calc \\ * U_Original_Calc)^2 - 1)) * Delta_U_Original_Unc$
Delta_U_Eff_Unc_By_f_Insulation [W/(m²K)]	$= (- U_Original_Calc \\ + 1 / (1/U_Original_Calc \\ + d_Insulation_Calc / Lambda_Insulation_Calc)) \\ * Delta_f_Insulation_Unc$
Delta_U_Eff_Unc_By_d_Insulation [W/(m²K)]	$= - f_Insulation_Calc * Lambda_Insulation_Calc / \\ (Lambda_Insulation_Calc / U_Original_Calc + \\ d_Insulation_Calc)^2 * Delta_d_Insulation_Unc$
Delta_U_Eff_Unc_By_Lambda_Insulation [W/(m²K)]	$= f_Insulation_Calc * d_Insulation_Calc / \\ (Lambda_Insulation_Calc / U_Original_Calc + \\ d_Insulation_Calc)^2 * Delta_Lambda_Insulation_Unc$

Wie stark die jeweilige Unsicherheit der Eingangsgrößen beiträgt zur Gesamtunsicherheit des U-Wertes kann über die Relevanzfaktoren ermittelt werden (siehe folgende Rechenregel), die jeweils Werte zwischen 0 und 1 einnehmen können. Die Summe der vier Relevanzfaktoren ist für jedes Bauteil gleich 1. Die Werte sind rein informativ und gehen nicht in die Berechnung der Gesamtunsicherheit ein.

RR 35: **f_Relevance_Unc_U_Eff_U_Original | f_Relevance_Unc_U_Eff_f_Insulation | f_Relevance_Unc_U_Eff_d_Insulation | f_Relevance_Unc_U_Eff_Lambda_Insulation** – Faktoren zur Bewertung der Relevanz der Unsicherheit der Eingangsgrößen für die Gesamtunsicherheit des U-Wertes

f_Relevance_Unc_U_Eff_U_Original	$= \frac{Delta_U_Eff_Unc_By_U_Original^2}{Delta_U_Eff_Unc^2}$
f_Relevance_Unc_U_Eff_f_Insulation	$= \frac{Delta_U_Eff_Unc_By_f_Insulation^2}{Delta_U_Eff_Unc^2}$
f_Relevance_Unc_U_Eff_d_Insulation	$= \frac{Delta_U_Eff_Unc_By_d_Insulation^2}{Delta_U_Eff_Unc^2}$
f_Relevance_Unc_U_Eff_Lambda_Insulation	$= \frac{Delta_U_Eff_Unc_By_Lambda_Insulation^2}{Delta_U_Eff_Unc^2}$

D.4.3 Unsicherheit der Fenster-U-Werte

Einstufung in Unsicherheitsklassen

Die Unsicherheit der Fenster-U-Werte wird wie folgt klassifiziert:

- Werden Planungswerte für neue Fenster (Neubau oder Modernisierung) direkt verwendet, so wird für die Unsicherheit der U-Werte die **Klasse "B"** angesetzt.
- Liegt darüber hinaus die U-Wert-Berechnung für jedes Fenster einzeln vor (in der Detailliertheit des Passivhaus-Projektierungspakets) und ist die Fenster-Qualität zertifiziert und der Einbau qualitätsgesichert, so wird für die **Unsicherheitsklasse zu "A"**.
- Werden die aus der Vor-Ort-Datenaufnahme oder aus den Angaben des Gebäudeeigentümers oder einer Gebäudedatenbank stammenden Energieprofil-Indikatoren verwendet, so wird die Unsicherheit des U-Wertes bei vollständigen Angaben als **"C"** eingestuft.
- Eine Einstufung als **"D"** erfolgt, wenn bei Verwendung der Energieprofil-Indikatoren einer der folgenden Fälle auftritt:
 - (1) Fenster ohne Angabe des Einbaujahrs oder ohne Angabe der Anzahl der Scheiben;
 - (2) Fenster der Baualtersklasse 1969 ... 1978 mit Zwei-Scheiben-Verglasung, aber ohne Angabe des Rahmentyps
 - (3) Fenster der Baualtersklasse 1995 ... 2001 ohne Information, ob Wärmeschutzverglasung vorliegt
- Liegen gar keine Informationen zum Fenster vor oder liegen keine Informationen zur Baualtersklasse und zur Anzahl der Scheiben vor dann erfolgt eine Einstufung in Klasse **"E"**.

In Rechenregel RR 29 ist der Algorithmus für die Einstufung dargestellt.

RR 36: Code_Uncertainty_U_Window – Klassifizierung der Unsicherheit des Fenster-U-Wertes

Code_Uncertainty_U_Window Type1	Code_TypeDataSources_ThermalTr_Constr_Calc = "DesignDataPlusQA"									
	= IF	ELSE	IF	THEN	"A"					
				IF	Code_TypeDataSources_ThermalTr_Constr_Calc = "DesignData"					
					THEN	"B"				
					OR	Code_TypeDataSources_ThermalTr_Constr_Calc = "NoDataSource"				
						AND	Year_Installation_WindowType1 = NA			
							Code_U_Class_WindowType1_n_Pane = "-"			
						THEN	"E"			
					ELSE	IF	OR	Year_Installation_WindowType1 = NA		
								Code_U_Class_WindowType1_n_Pane = "-"		
								1969 ≤ Year_Installation_WindowType1_Calc ≤ 1978		
							AND	Code_WindowType1_nPane = "2"		
								Code_WindowType1_FrameMaterial = "-"		
							AND	1995 ≤ Year_Installation_WindowType1_Calc ≤ 2001		
								Code_WindowType1_LowE = "-"		
							THEN	"D"		
							ELSE	"C"		

Zahlenwerte für die Unsicherheit

Die folgende Tabelle gibt die den fünf Klassen zugeordneten Zahlenwerte der Unsicherheit des Fenster-U-Wertes wieder. Die Herleitung ist in Anhang C dokumentiert.

Tab. 56: Relative Unsicherheiten des U-Wertes von Fenstern (Herleitung siehe Anhang C.6)

	Unsicherheitsklasse				
	Code_Uncertainty_U_Window				
	A	B	C	D	E
	RelativeUncertainty				
relative Unsicherheit des Fenster-U-Wertes*	5%	10%	15%	30%	50%

*) symmetrische Verteilung um den Pauschalwert bzw. Mittelwert

D.4.4 Unsicherheit der Wärmebrückenzuschläge

Einstufung in Unsicherheitsklassen

Da die Unsicherheiten der Wärmebrückenzuschläge für Bauteilanschlüsse derzeit noch nicht systematisch untersucht wurde, wird hier provisorisch die folgende auf Experteneinschätzung basierende Zuordnung vorgenommen:

- (A) Wärmebrückenberechnungen für die Bauteilanschlüsse sind Teil der Planungsdaten für Modernisierung oder Neubau; die Umsetzung ist qualitätsgesichert;
Heat flow calculations of constructive and geometrical thermal bridges are part of the design data; implementation is quality assured
- (B) Wärmebrückenberechnungen für die Bauteilanschlüsse sind Teil der Planungsdaten für Modernisierung oder Neubau ODER Neubau ab 2002 unter Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen (z.B. auch Gleichwertigkeitsnachweis);
- (C) Einordnung der Wärmebrücken auf der Basis einer Vor-Ort-Begehung ODER Neubau ab 2002 ohne Information über Wärmebrücken;
- (D) Einordnung der Wärmebrücken auf der Basis der Angaben des Gebäudeeigentümers;
- (E) Keine Information über Bauteilanschlüsse / Wärmebrücken.

RR 37: **Code_Uncertainty_ThermalBridging** – Klassifizierung der Unsicherheit der zusätzlichen Wärmeverluste durch Wärmebrückeneffekte

Code_ Uncertainty_ ThermalBridging	= IF	Code_ TypeDataSources_ ThermalBridging_ Calc = "DesignDataPlusQA"						
		THEN	"A"					
		ELSE	IF	OR	Code_ TypeDataSources_ ThermalBridging_ Calc = "DesignData"			
					AND	Code_ ThermalBridging <> "_NA_"		
						Year_ Building_ Calc >= 2002		
				THEN		"B"		
		ELSE	IF	Code_ ThermalBridging = "_NA_"				
				THEN	IF	Year_ Building_ Calc >= 2002		
						THEN	"C"	
				ELSE	"E"			
				ELSE	IF	Code_ TypeDataSources_ ThermalBridging_ Calc = "InspectionOnsite"		
						THEN	"C"	
ELSE	"D"							

Zahlenwerte für die Unsicherheit

Die folgende Tabelle gibt die den fünf Klassen zugeordneten Zahlenwerte der Unsicherheit des Wärmebrücken-zuschlags wieder.

Tab. 57: Ansätze für die absolute Unsicherheit des Wärmeverlustes an den Bauteilanschlüssen

	Unsicherheitsklasse				
	Code_Uncertainty_ThermalBridging				
	A	B	C	D	E
	AbsoluteUncertainty				
absolute Unsicherheit des hüllflächenbezogenen Wärmetransferkoeffizienten Transmission in $[W/(m^2K)]$ bedingt durch die Variationsbreite bei den Bauteilanschlüssen	0,01	0,02	0,05	0,07	0,1

*) symmetrische Verteilung um den Pauschalwert bzw. Mittelwert