

CLIMATE CHANGE

20/2026

Abschlussbericht

Operationalisierung des Niedertemperatur-Ready- Standards

**Entwicklung der Webanwendung „Gebäudecheck
Wärmepumpe“**

von:

Dr. Jakob Metz, Florian Maiwald, Peter Mellwig
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Heidelberg und Berlin

Laurenz Hermann, Julia Gebhard
co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH, Berlin

Markus Heckmann
Ingenieurbüro Heckmann, Schiffweiler

Herausgeber:

Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 20/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3722 43 504 0
FB001952

Abschlussbericht

Operationalisierung des Niedertemperatur- Ready-Standards

Entwicklung der Webanwendung „Gebäudecheck
Wärmepumpe“

von

Dr. Jakob Metz, Florian Maiwald, Peter Mellwig
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
gGmbH, Heidelberg und Berlin

Laurenz Hermann, Julia Gebhard
co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH, Berlin

Markus Heckmann
Ingenieurbüro Heckmann, Schiffweiler

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:

Oktober 2025

Redaktion:

Fachgebiet V 1.4 Energieeffizienz
Jens Schuberth

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8206>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, März 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: Operationalisierung des Niedertemperatur-Ready-Standards

Der Gebäudesektor spielt eine zentrale Rolle bei der Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045, insbesondere durch die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Wärmepumpen sind hierfür eine Schlüsseltechnik, da sie erneuerbaren Strom effizient in Wärme umwandeln. Während sie im Neubau etabliert sind, wird der überwiegende Gebäudebestand weiterhin fossil beheizt, sodass ihre Integration im Bestand für die Dekarbonisierung entscheidend ist. Die seit 2024 geltende „65-Prozent-Erneuerbare-Energien“-Regel des Gebäudeenergiegesetzes erhöht die Relevanz der Wärmepumpeneignung auch für Gebäudeeigentümer*innen, wobei neben Fragen der Eignung auch Unsicherheiten bezüglich Effizienz, Investitionsaufwand und baulicher Umsetzung bestehen.

Viele Bestandsgebäude lassen sich effizient mit Wärmepumpen beheizen. Als Maß kann hierfür die Heizungs-Vorlauftemperatur herangezogen werden. Diese sollte an kalten Wintertagen bei maximal 55 °C liegen, dann ist das Gebäude niedertemperaturfähig (NT-ready). Ob diese Voraussetzung erfüllt ist, hängt von den Wärmeverlusten der einzelnen Räume und der Wärmeleistung der Heizkörper ab. Oftmals genügen kleine Maßnahmen, wie der Austausch zu klein dimensionierter Heizkörper, um die Heizleistung zu erhöhen und die Vorlauftemperatur ausreichend zu senken.

Hier setzt der im Projekt entwickelte „Gebäudecheck Wärmepumpe“ an. Das Online-Tool prüft, ob ein Gebäude bereits für den effizienten Wärmepumpenbetrieb geeignet ist oder mit welchen gezielten Maßnahmen diese Eignung erreicht werden kann. Es führt Nutzer*innen Schritt für Schritt durch eine vereinfachte raumweise Heizlastabschätzung, die Ermittlung der Heizkörperdaten und kombiniert diese mit niederschwellig aufbereiteten Informationen. Dabei liegt der Fokus auf für die Vorlauftemperatur kritischen Räumen. Als Ergebnis erhalten die Nutzer*innen eine Bewertung der Wärmepumpeneignung, des Potenzials eines Heizkörperaustauschs sowie der energetischen Qualität der Hüllflächenbauteile – sowohl auf Einzelraumbene als auch für das Gesamtgebäude.

Damit schließt der Gebäudecheck Wärmepumpe die Lücke zwischen komplexen Fachwerkzeugen für Planende und vereinfachten Online-Rechnern für Endnutzerinnen. Durch die flexible Eingabetiefe – von der Analyse einzelner „Schlechtpunkträume“ bis zur vollständigen Erfassung aller beheizten Räume im Gebäude – lässt sich der Aufwand individuell anpassen. Das Tool bietet so eine niedrigschwellige, fachlich fundierte Entscheidungshilfe für Eigentümerinnen von Ein- und Zweifamilienhäusern, reduziert Informations- und Entscheidungsbarrieren und leistet einen konkreten Beitrag zur Dekarbonisierung des Wärmesektors im Gebäudebestand.

Der Gebäudecheck Wärmepumpe ist kostenlos verfügbar unter: www.ifeu.de/gebaeudecheck-waermepumpe

Abstract: Operationalization of the Low-Temperature Ready Standard

The building sector plays a central role in Germany's goal of achieving greenhouse gas neutrality by 2045, particularly through the decarbonization of heat supply. Heat pumps are a key technology in this context, as they efficiently convert renewable electricity into heat. While heat pumps are well established in new construction, the majority of existing buildings are still heated with fossil fuels, making the integration of heat pumps in the existing building stock essential for decarbonization. From 2024, newly installed heating systems are required to derive at least 65 percent of their energy from renewable sources, highlighting the relevance of assessing heat pump suitability for building owners, alongside uncertainties regarding efficiency, investment costs, and structural feasibility.

Many existing buildings can be efficiently heated with heat pumps. A practical indicator for this is the heating circuit flow temperature, which should not exceed 55 °C on cold winter days for a building to be considered low flow temperature ready (LT-ready). Whether this condition is met depends on the heat losses of individual rooms and the heat output of the radiators. Often, minor measures, such as replacing undersized radiators, are sufficient to increase heating capacity and adequately reduce the required flow temperature.

This is where the “Gebäudecheck Wärmepumpe” developed within the project comes in. The online tool evaluates whether a building is already suitable for efficient heat pump operation and identifies targeted measures to achieve suitability. It guides users step by step through a simplified room-specific heating load assessment, the determination of radiator data, and combines these with easily understandable information. The focus lies on rooms that are critical for meeting the flow temperature requirements. As a result, users receive an assessment of the building’s heat pump suitability, the potential for radiator replacement, and the energy performance of the envelope components – both at the room level and for the entire building.

The „Gebäudecheck Wärmepumpe“ thus bridges the gap between complex professional planning tools and simplified online calculators for end users. With flexible input depth, from analyzing individual weak spot rooms to an assessment of all heated rooms, the effort can be tailored to the user’s needs. The tool provides a low-threshold, technically sound decision support for owners of single- and two-family houses, reduces information and decision-making barriers, and contributes to the decarbonization of the heat sector in the existing building stock.

The “Gebäudecheck Wärmepumpe” can be accessed at: www.ifeu.de/gebaeudecheck-waermepumpe

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	13
Zusammenfassung.....	16
Summary	18
1 Einleitung.....	20
1.1 Projekt.....	21
1.2 Ausgangslage.....	22
1.3 Zielstellung	23
1.4 Alleinstellungsmerkmale des Gebäudecheck Wärmepumpe	25
2 Grundlagen	28
2.1 Heizen mit Wärmepumpen.....	28
2.2 Heizlastberechnung	29
2.3 Heizkörperleistung	31
2.4 Niedertemperaturfähigkeit und NT-ready Standard	32
3 Methodik	35
3.1 Berechnungsschritte	36
3.2 Datenquellen.....	41
3.3 Vereinfachungen und Anpassungen	42
3.3.1 Extrapolation der nominalen Vorlauftemperatur.....	43
3.3.2 Abschätzung nachträglicher Modernisierungen.....	43
3.3.3 Innenmaß und Außenmaße	44
3.3.4 Weitere Dateneingabe für Räume	45
3.3.5 Berücksichtigte Heizflächen-Arten	45
3.3.6 Korrektur der Heizlast für effiziente Gebäude.....	46
3.4 Erfassung und Berechnung von Dachräumen: Dachflächen, Gauben und Drempel/Kniestock	46
3.4.1 Wandfläche	49
3.4.2 Dachfläche	50
3.4.3 Fußbodenfläche	51
3.4.4 Raumvolumen.....	51
3.4.5 Abschätzung von Gauben	51
3.5 Ausgabelogik, Grenzwerte und Ergebnistexte.....	53

4	Umsetzung der Webanwendung.....	56
4.1	Excel-Vorlage.....	57
4.2	Eingabepfade und Ausgaben	58
4.3	User-Interface und Datenmodell	62
5	Exkurs: Schlechtpunkträume.....	69
6	Plausibilisierung und Robustheit.....	76
6.1	U-Werte.....	76
6.2	Bauteilflächen und Wärmeverluste	81
6.2.1	Gebäude Quergiebel	81
6.2.2	Gebäude Gaube	89
7	Ausblick.....	96
	Anhang	97
A.1	Dynamische Empfehlungstexte.....	97
A.1.1	Empfehlungstexte Raumebene.....	97
A.1.2	Empfehlungstexte Gebäudeebene	99
A.2	Plausibilisierung und Robustheit.....	108
	Literaturverzeichnis.....	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Arbeitspakete im ReFoPlan-Vorhaben „Wärmepumpen-Projektdatenbank und Niedertemperatur-ready-Standard“.	22
Abbildung 2	Bestehende Wärmepumpen-Tools und Verortung des Gebäudecheck Wärmepumpe hinsichtlich Detailtiefe und Komplexität.	26
Abbildung 3:	Gemessene Jahresarbeitszahlen in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur	33
Abbildung 4:	Einfluss und Aufwand von Maßnahmen sowie deren Einfluss auf die Vorlauftemperatur im Heizkreis auf Basis von (Mellwig et al. 2021).	34
Abbildung 5	Übergeordnetes Ablaufschema der Methodik für Eingaben, Berechnungsschritte und Ausgaben. Zugehörige Excel-Sheets in Klammern.	35
Abbildung 6	Legende - Erläuterung der Symbole und Farben im Flussdiagramm	36
Abbildung 7	Eingabe der Gebäudedaten mit Berechnungen.	37
Abbildung 8	Eingabe Raumdaten und Berechnung der Heizlast - Teil I.	39
Abbildung 9	Eingabe Raumdaten und Berechnung der Heizlast - Teil II.	40
Abbildung 10	Eingabe Raumdaten und Berechnung der Heizleistung und des Deckungsgrads.	41
Abbildung 11	Grafische Hilfestellung zur Erfassung der Bauteilmaße in Dachräumen im Gebäudecheck Wärmepumpe.	47
Abbildung 12	Kniestock und Drempeelwand sowie Flächenfragmente der Giebelwandfläche und Dachfläche in Dachräumen.	49
Abbildung 13	Eingangsgrößen für die Berücksichtigung der Wärmeverluste von Gauben	52
Abbildung 14	Pauschaler Faktor zur Berücksichtigung der Wärmeverluste von Gauben	53
Abbildung 15	Schema der Schnittstellen von Excel-Vorlage, Datenmodell (Typescript) und User-Interface (Angular).	56
Abbildung 16	Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Gebäude	59
Abbildung 17	Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Raum Teil I.	60
Abbildung 18	Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Raum Teil II.	61
Abbildung 19	Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Raum Teil III.	62
Abbildung 20	Screenshot Webanwendung: Gebäudeerfassung (Modernisierungsmaßnahmen).	64
Abbildung 21	Screenshot Webanwendung: Beispiel Textausgabe Anwendungsanweisung.	64
Abbildung 22	Screenshot Webanwendung: Datenerfassung Raum Dachfläche.	65
Abbildung 23	Screenshot Webanwendung: Grafische Erfassung der Heizkörper mit Abfrage der erforderlichen Abmaße.	65
Abbildung 24	Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisausgabe Raumebene mit Bewertung der Niedertemperaturfähigkeit vom bestehenden Heizkörper und einem besseren Heizkörper.	66

Abbildung 25	Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisausgabe Raumebene mit Einstufung der Einstufung der Hüllflächenqualität.....	67
Abbildung 26	Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisseite Gebäude mit Bewertung der Wärmepumpeneignung.	68
Abbildung 27	Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisseite Gebäude mit Dashboard zur Raumübersicht mit Angabe von Heizlast, Heizleistung, Deckungsgrad und Potenzial Heizkörpertausch.	68
Abbildung 28	Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Verteilung des Baujahrs	70
Abbildung 29	Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Verteilung der mittleren spezifischen Heizlast der Gebäude.....	70
Abbildung 30	Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Anteil der Sanierungen je Bauteil.....	71
Abbildung 31	Verteilung der spezifischen Raumheizlast je Einzelgebäude für quadratische (grün), rechteckige (blau) und komplexe (gelb) Grundfläche.	71
Abbildung 32	Abhängigkeit der Ungleichverteilung der Raumheizlast von der spezifischen Gebäudeheizlast anhand des Interquartilsabstands der spez. Raumheizlast je Gebäude.....	72
Abbildung 33	Abhängigkeit der Ungleichverteilung der Raumheizlast vom Baujahr anhand des Interquartilsabstands der spez. Raumheizlast je Gebäude (unsaniert).	73
Abbildung 34	Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Bandbreite der spezifischen Raumheizlast abhängig von der Raumnutzungsart	74
Abbildung 35	Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Verteilung der relativen spezifischen Raumheizlast abhängig von der relativen Geschosshöhe.....	74
Abbildung 36	U-Werte für das Bauteil Außenwand der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).	78
Abbildung 37	U-Werte für das Bauteil Fenster der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).....	78
Abbildung 38	U-Werte für das Bauteil Dach der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).....	79
Abbildung 39	U-Werte für das Bauteil Decke der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).....	80
Abbildung 40	U-Werte für das Bauteil Fußboden der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).	80
Abbildung 41	Querschnitt durch das „Gebäude Quergiebel“	82

Abbildung 42	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Raum.....	83
Abbildung 43	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 1	83
Abbildung 44	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 2	84
Abbildung 45	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 2	85
Abbildung 46	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für das Badezimmer.....	86
Abbildung 47	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für das Badezimmer.....	86
Abbildung 48	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 3	87
Abbildung 49	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 3	88
Abbildung 50	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Spitzboden.....	88
Abbildung 51	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Spitzboden.....	89
Abbildung 52	Querschnitt durch das „Gebäude Gaube“	89
Abbildung 53	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Raum Badezimmer.....	90
Abbildung 54	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Raum Badezimmer.....	91
Abbildung 55	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Raum 1.	92
Abbildung 56	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Raum 1.	93
Abbildung 57	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Raum 2.	93
Abbildung 58	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Raum 2.	94
Abbildung 59	Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Spitzboden.	95
Abbildung 60	Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Spitzboden.	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht bestehender Wärmepumpen-Beratungstools.....	27
Tabelle 2	U-Wert Vorgaben nach Bauteil und Jahr anhand von WSVO und EnEV, angenommener U-Wert bei Erbauung sowie resultierende Dämmstärke.	44
Tabelle 3	Einfluss von Dachneigung und Kniestockhöhe auf das Raumvolumen.	51
Tabelle 4	Bewertungsgrenzwerte für die vier Bewertungskategorien (Rot, Orange, Gelb, Grün) für die opaken Bauteile, angelehnt an die Bewertungskategorien des iSPF.	54
Tabelle 5	Empfehlungstexte Raumebene - Bewertung der Wärmepumpeneignung.....	97
Tabelle 6	Empfehlungstexte Raumebene - Bewertung Potenzial Heizkörpertausch.....	98
Tabelle 7	Empfehlungstexte Raumebene – Bewertung der Gebäudehülle.....	99
Tabelle 8	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung der Wärmepumpeneignung.....	99

Tabelle 9	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Raumübersicht.....	101
Tabelle 10	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Potenzial Heizkörpertausch.....	102
Tabelle 11	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Gebäudehülle.....	103
Tabelle 12	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Außenwände	104
Tabelle 13	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Fenster	105
Tabelle 14	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Dach	106
Tabelle 15	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Fußboden	106
Tabelle 16	Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Kellerdecke.....	107
Tabelle 11	Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Außenwand.....	108
Tabelle 12	Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Fenster.	108
Tabelle 13	Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Dach.	108
Tabelle 14	Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Decke.	109
Tabelle 15	Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Fußboden.....	109
Tabelle 16	Dachräume „Gebäude Quergiebel“: Heizlasten nach Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).	110
Tabelle 17	Dachräume „Gebäude Quergiebel“: Bauteilflächen und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).	110
Tabelle 18	Dachräume „Gebäude Quergiebel“: U-Werte je Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).	111
Tabelle 19	Dachräume des „Gebäude Gaube“: Heizlasten nach Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).	112
Tabelle 20	Dachräume des „Gebäude Gaube“: Bauteilflächen und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).	112
Tabelle 21	Dachräume des „Gebäude Gaube“: U-Werte je Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).	113

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
a	benachbart (engl. <i>adjacent</i>); Bezieht sich üblicherweise auf anders oder unbeheizte Räume in der Berechnung der Norm-Heizlast.
A	Fläche
AW	Außenwand
Bivalenzpunkt	Temperatur der Außenluft, bei der ein zusätzlicher Wärmeerzeuger im Heizsystem zugeschaltet wird [°C]
b	Breite
c	volumenspezifische Wärmespeicherkapazität [Wh/(m ³ ·K)]
COP	Coefficient of Performance; Beschreibt das Verhältnis zwischen der erzeugten Nutzwärme und der für den Betrieb aufgewendeten Energie eines Wärmeerzeugers, bspw. einer Wärmepumpe unter Laborbedingungen
d	Dicke
Drempel	Drempelwand. Eine leichte, häufig in Trockenbauweise ausgeführte Zwischenwand vor einem nicht begehbaren Dachraum. Dach- und Fußbodenfläche laufen hinter der Drempelwand fort.
e	Außenluft, außen (engl. <i>exterior</i>); Bezieht sich üblicherweise auf eine Norm-Randbedingung
eff	wirksam
EnEV	Energieeinsparverordnung
(EU) ETS	(European Union) Emission Trading System; Europäisches System zum Handel mit CO ₂ -Zertifikaten
Ffe	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
f_{HK}	Deckungsgrad: Verhältnis der summierten Heizkörperleistung zur nominalen Heizlast
f_{ie,k}	Korrekturfaktor für die Temperatur der angrenzenden Umgebung
g	Erdreich (engl. <i>ground</i>)
GEG	Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden
h	Höhe
H	Wärmedurchgangskoeffizient [W/K] sowie Index Wärmeabgabe (Heizen)
HK	Heizkörper
HTML	Hypertext Markup Language; Eine textbasierte Sprache für elektronische Dokumente
hwr	Hauswirtschaftsraum
i/j	Innenraum; Zählende Indizes in Summen

Abkürzung	Erläuterung
int	intern
JAZ	Jahresarbeitszahl; Beschreibt das Verhältnis der am Betriebsort gemessenen, erzeugten Heizwärme zum Jahresstromverbrauch der Wärmepumpe
K	Index; Wärmeaufnahme (Kühlung)
Knie	Kniestock. Ein nicht raumhoher, direkt an Außenluft grenzender Abschluss eines Dachraumes, der zumeist denselben Bauteilaufbau hat wie die Außenwände des Gebäudes
L	Länge
min	Mindestwert
n	Heizkörperexponent sowie Luftwechselrate [1/h]
norm	Index; Wert unter Normbedingungen
NT-ready	Status eines Gebäudes, der beschreibt, dass bei einer maximalen Vorlauftemperatur von 55°C die Räume den gewünschten Behaglichkeitsanforderungen entsprechend warm werden (Abkürzung für Niedertemperatur-ready). Abhängig vom Wärmeschutz der Gebäudehülle und der Heizungstechnik
$\dot{Q}$	Leistung [W]
R	Raum
ReFoPlan	Ressortforschungsplan
RL	Rücklauftemperatur, mit der das Wasser durch die Heizrohre fließt, nachdem es durch die Heizkörper geströmt ist
Sole	Mit Frostschutzmittel versetztes Wasser
T	Thermodynamische Temperatur [K]
T/trans	Index; Transmission
TABULA	Typology Approach for Building Stock Energy Assessment
Taupunkt	Temperatur, bei der Wasserdampf aus Luft kondensiert [°C]
TB	Wärmebrücke
tot	Index; totaler/aufsummierter Wert
U	Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m²K)]
UI	User Interface. Die Benutzeroberfläche eines Computerprogramms oder einer Webanwendung
V	Volumen
VdZ	Wirtschaftsvereinigung Gebäude und Energie e.V.
Vent	Index; Ventilation/Lüftung

Abkürzung	Erläuterung
VL	Vorlauftemperatur, mit der das Wasser durch die Heizrohre fließt, bevor es durch die Heizkörper geströmt ist
WSVO	Wärmeschutzverordnung
Δ	Delta/Differenz
θ	Temperatur [°C]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
ρ	Dichte [kg/m ³]
φ	spezifische Heizleistung [W/m ²]
Φ	Heizleistung (Heizlast). Die Heizlast ist die Summe der Wärmeverluste eines Raumes oder Gebäudes [W]

Zusammenfassung

Der Gebäudesektor spielt eine zentrale Rolle auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045. Insbesondere die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung steht hierbei im Fokus. Es ist wissenschaftlicher Konsens, dass **Wärmepumpen eine Schlüsseltechnik für die klimaneutrale Wärmeversorgung** sind, da sie erneuerbaren Strom effizient in Wärme umwandeln. Während Wärmepumpen im Neubau bereits der technische Standard sind, wird im – die Wärmenachfrage dominierenden – Gebäudebestand überwiegend fossil geheizt. Folglich ist für eine erfolgreiche Dekarbonisierung eine Durchdringung von Wärmepumpen auch in Bestandsgebäuden erforderlich.

Mit der gesetzlichen Vorgabe, dass ab 2024 neu installierte Heizsysteme zu mindestens 65 % aus erneuerbaren Energien gespeist werden müssen, rückt die **Relevanz von Wärmepumpen und die Frage nach der Eignung auch für Gebäudeeigentümer*innen zunehmend in den Fokus**. Hinzu kommen Unsicherheiten und Vorbehalte bei Eigentümer*innen, etwa hinsichtlich Effizienz, Investitionskosten oder der Eignung bestehender Gebäude.

Wärmepumpen heizen auch in vielen Bestandsgebäuden effizient und wirtschaftlich. Diese sollten dafür jedoch **niedertemperaturfähig** sein, also mit einer nominalen Vorlauftemperatur von maximal 55 °C auskommen (NT-ready). Ob diese Voraussetzung erfüllt ist, hängt maßgeblich von den Wärmeverlusten der einzelnen Räume und der Dimensionierung der zugehörigen Heizkörper ab. Aus diesem Grund ist eine raumweise Betrachtung von Heizlast und Heizleistung erforderlich.

Ein Großteil der Gebäude heizt aktuell mit Temperaturen von mehr als 55 °C, vielfach können Gebäude jedoch bereits mit kleinen und geringinvestiven Maßnahmen niedertemperaturfähig werden. Dazu zählt insbesondere der **Austausch zu gering dimensionierter Heizkörper** mit besseren beziehungsweise leistungsfähigeren Heizkörpern, die wie ein Flachheizkörper vom Subtyp 33 eine große Übertragungsfläche hat, oder vergrößerten Heizkörpern. Ebenso können einfache Dämmmaßnahmen, wie die Dämmung der oberen Geschossdecke oder der Kellerdecke, zur Reduktion der Wärmeverluste beitragen und damit die Vorlauftemperaturanforderungen einzelner Räume deutlich senken.

Genau an diesem Punkt setzt der im Rahmen des Projekts entwickelte „**Gebäudecheck Wärmepumpe**“ an (kostenlos verfügbar unter: www.ifeu.de/gebaeudecheck-waermepumpe). Das Tool adressiert die zentrale Frage, ob ein Gebäude bereits heute für den effizienten Betrieb einer Wärmepumpe geeignet ist oder mit welchen Maßnahmen diese Eignung erreicht werden kann. Es führt die Nutzer*innen Schritt für Schritt durch eine vereinfachte raumweise Heizlastabschätzung und kombiniert diese mit einer einfachen grafisch unterstützten Ermittlung der Heizkörperleistung bei 55 °C Vorlauftemperatur.

Auf Basis dieser Eingaben bewertet der Gebäudecheck Wärmepumpe sowohl raumweise als auch gebäudeweit, ob das vorhandene **Heizsystem für den Einsatz einer Wärmepumpe geeignet** ist oder ob die nominale Vorlauftemperatur durch den Austausch der aktuellen Heizkörper mit leistungsfähigeren Heizkörpern auf unter 55 °C abgesenkt werden kann. Darüber hinaus wird auch die Gebäudehülle analysiert, bewertet und es werden Bauteile mit besonders großem Potenzial zur Reduktion der Wärmeverluste benannt.

Damit schließt der Gebäudecheck Wärmepumpe eine zentrale Lücke zwischen detaillierten Fachwerkzeugen für Planende und pauschalen Online-Rechnern für Endnutzer*innen, welche eine für die Wärmepumpeneignung elementare Bewertung der Einzelräume nicht berücksichtigen. Zugleich bietet die große Spannweite zwischen der Konzentration auf Schlechtpunkträume und der vollständigen Erfassung aller beheizten Räume die Möglichkeit,

den Eingabeaufwand für die Nutzer*innen flexibel an den gewünschten Detaillierungsgrad anzupassen. Das Tool bietet Gebäudeeigentümer*innen von Ein- und Zweifamilienhäusern eine **niedrigschwellige, fachlich fundierte Entscheidungshilfe, die technische Bewertung, Nutzerführung und Verständlichkeit verbindet**. Es trägt somit dazu bei, Unsicherheit, Informationslücken und andere Hemmnisse bei der Wärmepumpen-Modernisierung im Gebäudebestand abzubauen und die Dekarbonisierung des Wärmesektors durch die Umstellung auf klimafreundliche Heizsysteme zielgerichtet voranzubringen.

Eine **Analyse der Güte des Gebäudecheck Wärmepumpe** anhand von nach DIN EN 12831 berechneten Beispielgebäuden zeigt, dass das Tool für Geschossräume eine hohe Übereinstimmung mit den berechneten Wärmeverlusten aufweist. Für Dachräume werden stärkere Vereinfachungen vorgenommen, weshalb die Bauteilflächen von Außenwand und Dach insbesondere bei einer komplexeren Dachgeometrie oder Vorhandensein von Gauben stärkere Unsicherheiten aufweisen. Hierdurch kann die Heizlast in Einzelfällen um bis zu 30 % überschätzt werden. Ferner ergeben sich Abweichungen von der Norm-Berechnung, wenn hohe Wärmeströme innerhalb des Gebäudes zwischen den Räumen bestehen, da das Tool Innenwände nur dann erfasst, wenn diese an unbeheizte Räume grenzen. Die Heizkörperleistung auf der anderen Seite enthält keine Vereinfachungen gegenüber der zugrunde liegenden Norm EN 442 und den in der Praxis des hydraulischen Abgleich Verfahren B verwendeten Heizkörperdaten. Aus diesem Grund liegt hinsichtlich der Heizleistungsberechnung eine sehr hohe Übereinstimmung mit der Fachberatung vor. Die vollständig grafisch umgesetzte Bestimmung von Heizkörpertyp, Subtyp I und Subtyp II sowie die einfache Erfassung der Heizkörpermaße verringern darüber hinaus das Fehlerpotenzial seitens der Datenerfassung.

Summary

The building sector plays a central role in Germany's path to greenhouse gas neutrality by 2045. In this context, the focus is particularly on decarbonizing heat supply. It is a scientific consensus that heat pumps are a key technology for climate-neutral heat supply, as they efficiently convert renewable electricity into heat. While heat pumps are already the technical standard in new buildings, the existing building stock, which dominates heat demand, is predominantly heated with fossil fuels. Consequently, successful decarbonization requires the penetration of heat pumps in existing buildings as well.

From 2024, newly installed heating systems are required to derive at least 65 percent of their energy from renewable sources. Thus, the relevance of heat pumps and the question of their suitability for building owners is increasingly coming into focus. Added to this are uncertainties and reservations on the part of owners, for example with regard to efficiency, investment costs, or the suitability of existing buildings.

Heat pumps could provide efficient and economical heating in many existing buildings. However, these buildings should be low flow temperature ready, i.e., they should be able to operate with a nominal flow temperature of no more than 55 °C (LT-ready). Whether this requirement is met depends largely on the heat loss of the individual rooms and the dimensions of the associated radiators. For this reason, it is necessary to consider the heating load and heating output on a room-specific basis.

Most buildings are currently heated at temperatures above 55 °C, but in many cases, buildings can be made suitable for low temperatures with small and low-cost measures. These include, in particular, replacing undersized radiators with better or more efficient radiators that have a large transfer surface, such as a flat radiator of subtype 33, or larger radiators. Simple insulation measures, such as insulating the upper floor ceiling or basement ceiling, can also help to reduce heat loss and thus significantly lower the flow temperature requirements of individual rooms.

At precisely this point, the web application „**Gebäudecheck Wärmepumpe**“ developed as part of the project comes into play. The tool addresses the key question of whether a building is already suitable for the efficient operation of a heat pump or what measures can be taken to achieve this suitability. It guides users step by step through a simplified room-specific heating load assessment and combines this with a simple, graphically supported determination of radiator output at a flow temperature of 55 °C.

Based on these inputs, the “Gebäudecheck Wärmepumpe” evaluates both room by room and building-wide whether the existing heating system is suitable for the use of a heat pump or whether the nominal flow temperature can be reduced to below 55 °C by replacing the current radiators with more efficient ones. In addition, the building envelope is analyzed and evaluated, and components with particularly high potential for reducing heat loss are identified.

The “Gebäudecheck Wärmepumpe” thus closes a key gap between detailed specialist tools for planners and general online calculators for end users, which do not take into account an assessment of individual rooms that is essential for heat pump suitability. At the same time, the wide range between focusing on poorly rated rooms and completely recording all heated rooms offers users the flexibility to adjust the amount of input required to the desired level of detail. The tool offers owners of single-family and two-family homes a low-threshold, technically sound decision-making aid that combines technical evaluation, user guidance, and comprehensibility. It thus helps to reduce uncertainty, information gaps, and other obstacles to heat pump modernization in existing buildings and to advance the decarbonization of the heating sector in a targeted manner by switching to climate-friendly heating systems.

An analysis of the accuracy of the Building Check Heat Pump tool based on sample buildings calculated in accordance with DIN EN 12831 shows that the tool exhibits a high degree of consistency with the calculated heat losses for floor spaces. For attic rooms, greater simplifications are made, which is why the component areas of exterior walls and roofs are subject to greater uncertainty, especially in the case of more complex roof geometries or the presence of dormers. As a result, the heating load may be overestimated by up to 30% in individual cases. Furthermore, deviations from the standard calculation occur when there are high heat flows within the building between rooms, as the tool only records interior walls if they are adjacent to unheated rooms. On the other hand, the radiator output does not contain any simplifications compared to the underlying standard EN 442 and the radiator data used in the practice of hydraulic balancing method B. For this reason, there is a very high degree of consistency with expert technical advice with regard to the heating output calculation. The fully graphical determination of radiator type, subtype I, and subtype II, as well as the simple recording of radiator dimensions, also reduce the potential for errors in data collection.

1 Einleitung

Einschlägige Zielszenarien für eine klimaneutrale Wärmeversorgung im Jahr 2045 zeigen, dass Wärmepumpen mit etwa 55 % bis 80 % den maßgeblichen Anteil der Endenergie zur Beheizung von Gebäuden bereitstellen werden (Agora Energiewende 2021; Fraunhofer Institut 2021; Luderer et al. 2021, 2025; Mellwig und Blömer 2024; Thamling et al. 2022). Während Wärmepumpen im Neubau mit 70 bis 80 % der verbauten Wärmeerzeuger bereits die maßgebliche Heizungstechnik sind (bwp 2025b), wird im gesamten Gebäudebestand zurzeit noch überwiegend (78 % der Wärmeerzeuger im Jahr 2022) mit den fossilen Energieträgern Gas und Öl geheizt (dena 2024). Folglich liegt für eine erfolgreiche Dekarbonisierung des Gebäudesektors der Schlüssel auf den Bestandsgebäuden.

Marktdaten zeigen, dass mit etwa 80 % bereits heute ein Großteil der abgesetzten Wärmepumpen in bestehenden Gebäuden installiert werden (bwp 2025b). Dass Wärmepumpen auch in Bestandsgebäuden installiert und effizient betrieben werden können, zeigen Auswertungen von umgesetzten Anlagen (Günther 2024; Günther et al. 2020). Allerdings sind die spezifischen Betriebsbedingungen der Wärmepumpe zu berücksichtigen, insbesondere der Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz. Nach dem Carnot-Faktor, der die theoretische Obergrenze des zugrunde liegenden thermodynamischen Kreisprozesses beschreibt, steht die Effizienz der Wärmepumpe in umgekehrt proportionalem Verhältnis zur zu überwindenden Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizkreis. Bei einer festgelegten Wärmequellentemperatur gilt also: Mit steigender Heizkreis-Vorlauftemperatur sinkt der Wirkungsgrad der Wärmepumpe.

Die Vorlauftemperatur eines Gebäudes kann deshalb als praktikabler Maßstab der Eignung für eine Wärmepumpe sowie für die erreichbare Effizienz dienen. Als Benchmark definiert der Niedertemperatur-ready-Standard (siehe auch Kapitel 2.4) eine nominale Vorlauftemperatur von maximal 55 °C für die effiziente Beheizung eines Bestandsgebäudes mit einer Wärmepumpe, das Gebäude ist dann „NT-ready“ (Mellwig et al. 2021). Im Gebäude wird die nominale Vorlauftemperatur bei einer fest definierten Raumtemperatur von den Wärmeverlusten und der Heizkörperleistung beeinflusst. Können die Heizkörper bei 55 °C Vorlauftemperatur die Heizlast eines Raums vollständig decken (Deckungsgrad $\geq 100\%$), sind diese niedertemperaturfähig. Liegt der Deckungsgrad umgekehrt unter 100 %, macht dies eine Vergrößerung der Heizfläche (mehr Heizleistung) oder eine Reduktion der Wärmeverluste (weniger Heizlast) notwendig. Um die Niedertemperaturfähigkeit eines Gebäudes zu bewerten, sind deshalb die raumweise Heizlastberechnung sowie die Kalkulation der Heizkörperleistung die zwei zentralen Instrumente.

Die raumweise Heizlastberechnung ermittelt die Wärmeverluste für jeden Raum eines Gebäudes am theoretisch kältesten Wintertag in einer Region, der durch die Norm-Außentemperatur definiert wird. Zur Berechnung der Wärmeverluste werden alle Bauteile eines Raumes mit ihren spezifischen Bauteilflächen und Wärmedurchgangskoeffizienten sowie den daran grenzenden Temperaturniveaus erfasst. Dies ermöglicht die Berechnung der Wärmeströme im gesamten Gebäude, das Beziffern der Heizlast eines Einzelraums sowie der Heizlast des gesamten Gebäudes. Grundlage für diese Berechnung ist die Norm DIN EN 12831, die als normative Vorgabe die methodische Vorgehensweise, erforderliche Kennwerte sowie mögliche Vereinfachungen regelt (siehe Kapitel 2.2). Die Heizkörperleistung auf der anderen Seite kann anhand von heizkörperspezifischen Kennzahlen und der Art und Abmaße der Heizkörper bestimmt werden. Die zugehörigen Rechenverfahren auf Basis der logarithmischen Übertemperatur werden im Kapitel 2.3 erläutert. Die beschriebenen Verfahren zur Heizlastberechnung und Berechnung der Heizkörperleistung werden typischerweise im Zuge

eines hydraulischen Abgleichs Verfahren B nach der VdZ-Richtlinie „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“ von qualifizierten Fachpersonen wie Energieberaternden, Planenden oder Heizungsbauernden durchgeführt.

Im Zuge des Projektes „Wärmepumpen-Projektdatenbank und Niedertemperatur-Ready-Standard“ wurde das Beratungstool „Gebäudecheck Wärmepumpe“ entwickelt, mit dem Gebäudeeigentümer*innen angeleitet einschätzen können, ob ihr Gebäude für den Einbau einer Wärmepumpe geeignet ist. Die Hintergrundberechnungen zur Heizlast und Heizkörperleistung sind angelehnt an die beschriebenen Rechenverfahren des hydraulischen Abgleichs Verfahren B und ermöglichen es, den Deckungsgrad der eingegebenen Räume bei 55 °C Vorlauftemperatur zu bewerten. Neben der Bewertung der aktuellen Heizkörper, wird der Deckungsgrad eines effizienteren Austausch-Heizkörpers berechnet und so das Potenzial eines Heizkörperaustauschs bewertet. Darüber hinaus erfolgt eine Beurteilung der Gebäudehülle sowie des Modernisierungspotenzials der einzelnen Bauteile. Neben der Beurteilung der Einzelräume, werden das Gesamtgebäude bewertet und Maßnahmenempfehlungen abgeleitet. Durch die Umsetzung als browserbasierte Webanwendung ist der „Gebäudecheck Wärmepumpe“ für eine breite Zielgruppe zugänglich und ermöglicht es, Hintergrundinformationen und Tipps für die Nutzer*innen niederschwellig aufzubereiten.

Der „Gebäudecheck Wärmepumpe“ ist lizenziert unter [CC BY-SA 4.0](#) und kann unter folgendem Link kostenlos verwendet werden: www.ifeu.de/gebaeudecheck-waermepumpe

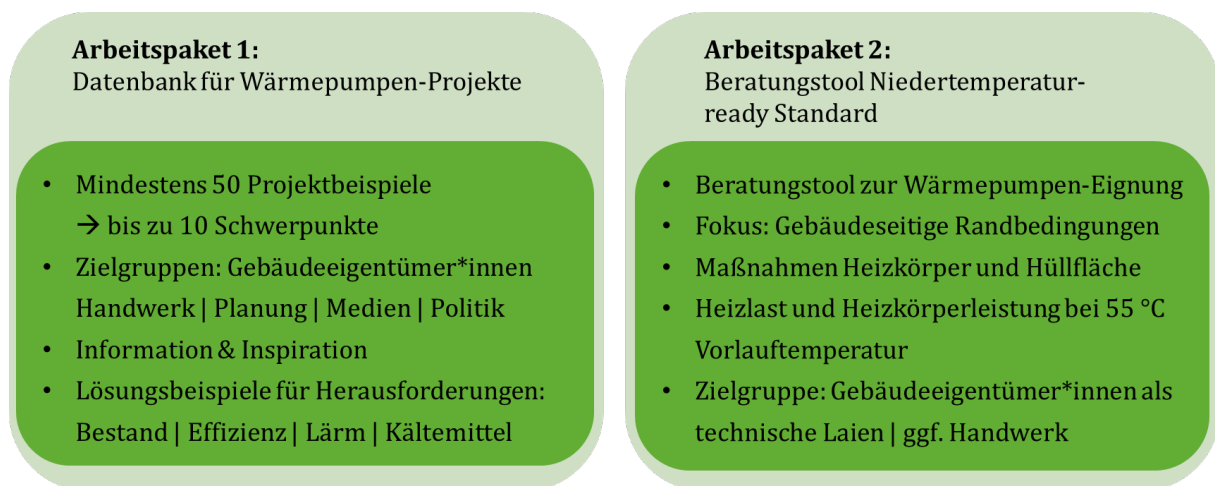
1.1 Projekt

Die beschriebenen Arbeiten haben im Rahmen des ReFoPlan-Vorhabens „Wärmepumpen-Projektdatenbank und Niedertemperatur-ready-Standard“ stattgefunden. Fokus des Projektes ist einerseits das in diesem Bericht beschriebene Beratungstool zur Operationalisierung des Niedertemperatur-ready Standards im Arbeitspaket 2. Auch das Arbeitspaket 1 legt den Fokus vollständig auf Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Im Zuge des ersten Arbeitspakts wurde die bundesweite Online-Datenbank „So geht’s mit Wärmepumpen“ entwickelt, die reale Beispiele dokumentiert¹. Die Plattform soll Eigentümer*innen sowie Fachleuten praxisnahe Orientierung bieten und erfolgreiche Projekte mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen sichtbar machen. Neben den technischen Daten stehen auch die Erfahrungen und Empfehlungen der Einreichenden im Fokus. Die Arbeiten zur Online-Datenbank werden in einem separaten Abschlussbericht veröffentlicht².

¹ www.umweltbundesamt.de/so-gehts-mit-waermepumpen

² <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/so-gehts-waermepumpen>

Abbildung 1 Arbeitspakete im ReFoPlan-Vorhaben „Wärmepumpen-Projektdatenbank und Niedertemperatur-ready-Standard“.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Arbeiten in beiden Arbeitspaketen wurden in halbjährigen Sitzungen von einem interdisziplinär besetzten Fachbeirat fachlich und strategisch unterstützt. Für die Entwicklung des „Gebäudecheck Wärmepumpe“ lieferte der Fachbeirat wertvolle Impulse sowohl zur methodischen Ausgestaltung der Berechnungsgrundlagen, von Vereinfachungen und Bewertungsgrenzen als auch zur nutzungsorientierten Gestaltung des Tools. Durch seine vielfältige Expertise aus Planung, Handwerk, Energieberatung, Verbraucherschutz und Wissenschaft trug der Beirat dazu bei, die Praxistauglichkeit, Verständlichkeit und Akzeptanz des Tools zu erhöhen. In den Sitzungen wurde Umsetzungsideen und Entwicklungsstand des Tools diskutiert. Darüber hinaus erfolgte eine Vorabprüfung des „Gebäudecheck Wärmepumpe“ durch den Fachbeirat, die zu wertvollen Verbesserungen führte.

1.2 Ausgangslage

Mit dem ab 2027 für den Gebäude- und Verkehrssektor geltenden europäischen Emissionshandelssystem ETS II werden die Preise fossiler Energieträger zukünftig allmählich deren klimaschädliche Wirkung einpreisen und damit die Energiekosten spürbar ansteigen (DEHSt 2024). Parallel dazu steigen die Netzentgelte für Gas, da mit sinkenden Anschlusszahlen die Fixkosten auf eine kleinere Nutzerbasis verteilt werden müssen (BDEW und EY Consulting 2024). Zugleich wird durch die Auswirkungen geopolitischer Abhängigkeiten in jüngster Zeit in der breiten Bevölkerung deutlich, dass Kosten und Unsicherheit fossiler Brennstoffe zunehmen. Ebenso verstärken nationale und europäische gesetzliche Vorgaben zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung, allen voran die 65-Prozent-Erneuerbare-Energien-Regel des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), das Bewusstsein der Bevölkerung für die Umstellung auf eine zukunftsfähige Heiztechnik, allem voran die Wärmepumpe. Damit einhergehend beschäftigt Gebäudeeigentümer*innen die Frage, unter welchen Voraussetzungen eine Wärmepumpe in ihrem Gebäude effizient betrieben werden kann.

Dabei haben Gebäudebesitzende von Bestandsgebäuden jedoch Unsicherheiten insbesondere hinsichtlich der technischen Eignung ihrer Gebäude ebenso wie zu gesetzlichen Vorgaben, Lärmschutz, Installationskosten oder der Entwicklung der Energiekosten (Stolte 2022). Hinzu kommen unzureichendes Wissen oder verbreitete Fehleinschätzungen, wie etwa die Annahmen, Wärmepumpen seien ausschließlich im Neubau mit Flächenheizungen effizient einsetzbar oder eine Umstellung gehe zwangsläufig mit umfassenden Modernisierungsmaßnahmen einher. Zugleich haben sich im Jahr 2024 durch gesetzliche Änderungen, insbesondere die Einführung

der 65 %-Erneuerbare-Energien-Vorgabe im Gebäudeenergiegesetz und die begleitende Förderung, die Randbedingungen für den Heizungstausch geändert. Viele Eigentümer*innen stehen somit unter Handlungsdruck.

Bestehende kostenlose online-Beratungsangebote zur niederschweligen Ersteinschätzung legen den Schwerpunkt vermehrt auf eine höhere Abstraktionsebene zur Bewertung der Wärmepumpeneignung von Gebäuden, die für die Beurteilung der technischen Eignung nicht detailreich genug ist. Auf der anderen Seite bestehen Instrumente, die mit einer sehr hohen Detailebene und oftmals kostenpflichtiger Nutzung für Fachleute in der Planungsphase konzipiert sind. Gebäudebesitzenden, die motiviert und gewillt sind, sich mit ihrem Gebäude und den Voraussetzungen für eine Wärmepumpe auseinanderzusetzen, scheitern ohne fachliche Expertise an der Komplexität, die eine raumweise Bilanzierung von Heizlast und Heizkörperleistung mit sich bringt.

1.3 Zielstellung

Der Gebäudecheck Wärmepumpe soll diese Lücke schließen. Durch die angeleitete und mit Erläuterungstexten und Grafiken unterstützte Erfassung der erforderlichen Daten, die kein Hintergrundwissen voraussetzt, reduziert das Tool die Komplexität der raumweisen Heizlastberechnung auf einfache und für Laien gut machbare Schritte. Im Ergebnis erhalten Nutzer*innen dezidierte Einschätzungen und Erläuterungen zur aktuellen Eignung des Gebäudes sowie zu geringinvestiven Maßnahmen, um das Gebäude niedertemperaturfähig zu machen.

Nach Renz und Hacke (2016) sind Sanierungsmaßnahmen an erster Stelle ökonomisch motiviert. Weiterhin spielen Wünsche nach einer nachhaltigeren Wärmeversorgung sowie die Notwendigkeit einer Instandsetzung eine Rolle. Wird die Immobilie selbst genutzt, ist zudem eine Verbesserung des Komforts und die Höhe der Betriebskosten von Interesse.

Bezogen auf die Installation eines Wärmepumpensystems, werden darauf aufbauend aus der Perspektive der Gebäudeeigentümer*innen nachfolgende Kernfragen gestellt:

- ▶ Ist mein Gebäude dafür geeignet, um es effizient mit einer Wärmepumpe zu beheizen?
(Technischer Hintergrund: nominale Vorlauftemperatur)
- ▶ Wird mein Gebäude mit einer Wärmepumpe warm?
(Technischer Hintergrund: Raumweise Heizlast und Heizkörperberechnung)
- ▶ Sind für den Betrieb einer Wärmepumpe Änderungen an meinem Gebäude erforderlich?
(Technischer Hintergrund: Heizkörpertausch, Modernisierungsmaßnahmen der Bauteile)

Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass die Zielgruppe technischer Laien kein Interesse oder Zugang zu den spezifischen, den Fragestellungen zugrunde liegenden, technischen Informationen hat wie beispielsweise:

- ▶ Detaillierter Wandaufbau und U-Werte der Bauteile,
- ▶ Auswirkungen von Modernisierungsmaßnahmen auf den U-Wert,
- ▶ Exakte Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur,
- ▶ Art des Wärmeverteilsnetzes und Spezifikation von Heizkörpertypen oder
- ▶ Berechnung und technischer Vergleich der Leistung unterschiedlicher Heizkörper und deren Auswirkung auf die Vorlauftemperatur.

Das Beratungstool soll auf die qualitative und verständliche Beantwortung der genannten Kernfragen abzielen. Die hierfür erforderlichen technischen Informationen und Abmaße werden durch eine Vereinfachung der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 auf ein nötiges Mindestmaß reduziert. Die damit weiterhin notwendigen Daten werden zielgruppennah und einfach verständlich abgefragt. So ist beispielsweise das korrekte Identifizieren des Heizkörpertyps erforderlich und kann durch eine grafische Abfrage deutlich erleichtert werden. Ebenso ist das Ausmessen der Heizkörper eine Tätigkeit, die problemlos ohne Vorwissen durch technische Laien erfolgen kann.

Ziel ist es, Wissen niederschwellig zu vermitteln, Kenntnisse zum eigenen Gebäude aufzubauen und Nutzer*innen zu befähigen, gemeinsam mit den Heizungsbetrieben, Energieberatenden oder Planer*innen fundierte und selbstbestimmte Entscheidungen zu treffen. Auf diese Weise trägt das Tool dazu bei, Hemmnisse und Vorbehalte gegenüber Wärmepumpen abzubauen, Fehlannahmen zu korrigieren und letztlich die Akzeptanz und Verbreitung dieser Technik im Gebäudebestand zu erhöhen.

Um diese Ziele zu erreichen, wird der Gebäudecheck Wärmepumpe als Webanwendung konzipiert, dies bringt gegenüber anderen Formaten für die Zielgruppe entscheidende Mehrwerte:

- ▶ Niederschwelliger Zugang zum Tool ohne erforderliche Software,
- ▶ Einfaches Anwenden des Tools auch auf mobilen Endgeräten,
- ▶ Intuitives und schnelles Beantworten der Fragestellungen durch eine Customer Journey,
- ▶ Hohe Flexibilität bei der Gestaltung der Oberfläche zur Eingabe und Ergebnisausgabe,
- ▶ Eine Beratung der Nutzer*innen passiert niederschwellig und mit wenig Hemmnisse,
- ▶ Excel ist nicht zur Information der Nutzenden geeignet, der Beratungsaspekt kann mittels Webanwendung besser erreicht werden

Charakterisierung des Gebäudecheck Wärmepumpe und dessen Grenzen

Der Gebäudecheck Wärmepumpe lässt sich damit wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Zielgruppe: Ziel des Beratungstools ist es, technischen Laien und Personen mit technischem Grundverständnis eine Hilfestellung für die Fragestellung der Eignung des Gebäudes für eine Wärmepumpe zu geben. Durch einfache Fragen, Erläuterungen und grafische Unterstützung soll es auch diejenigen Personen abholen, die wenig Grundwissen haben, jedoch gewillt sind, sich die für die Datenerfassung erforderliche Zeit zu nehmen
- ▶ Zeitaufwand: 15 bis 45 Minuten, abhängig von der Größe des Hauses und davon, wie viele Räume erfasst werden.
- ▶ Beratungszeitpunkt: Das Beratungstool soll Gebäudeeigentümer*innen in der Phase der Vorplanung unterstützen, um sich informiert und selbstbestimmt mit Energieberatenden oder dem Handwerk auszutauschen. Beratungen in der Phase der Orientierung sind durch andere freie Beratungsangebote (bspw. WärmepumpenCheck oder Wegweiser Wärmepumpe) gegeben. Die Phase der Planung liegt bei Energieberatenden, Fachplanenden und Handwerksbetrieben.
- ▶ Der Gebäudecheck Wärmepumpe ist als kostenloses Open Source Tool konzipiert

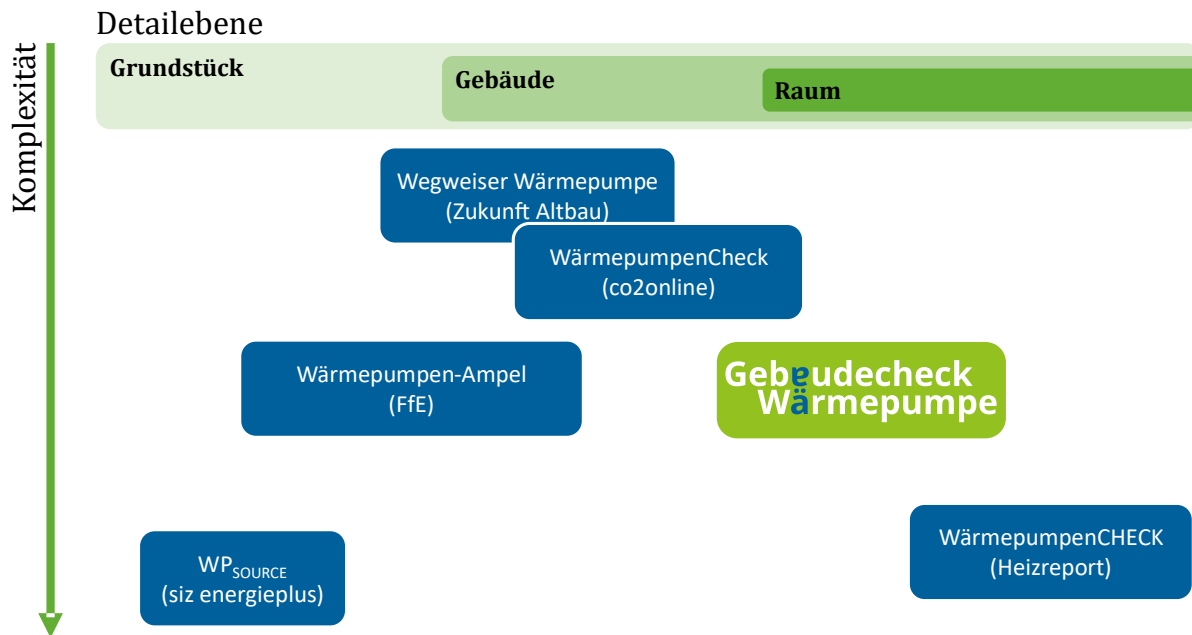
Für die Umsetzung einer Wärmepumpe weiterhin relevante Themengebiete außerhalb der raumweisen Heizlastbilanz werden durch das Beratungstool hingegen nicht adressiert. Dies betrifft insbesondere:

- ▶ **Wirtschaftlichkeit:** diese ist stark abgänglich von weiteren Randbedingungen des Gebäudes sowie der zukünftigen Entwicklung von Energiepreisen, Geräte- und Installationskosten sowie der Förderung, auf die das Tool nicht eingeht.
- ▶ **Wärmequellen:** Zur Eignung unterschiedlicher Wärmequellen liegen bereits Informationsangebote wie die Wärmepumpen-Ampel des FfE (siehe unten) vor.
- ▶ **Auslegung der Wärmepumpe:** aufgrund von Vereinfachungen, erfolgt keine Berechnung der gesamten Gebäudeheizlast, es werden jedoch statische Tipps zur Auslegung der Wärmepumpe gegeben.
- ▶ **Trinkwarmwasser-Erzeugung:** Der Fokus liegt auf der raumweisen Heizkörperbilanz und den zugehörigen Stellschrauben zur Temperaturabsenkung. In Ein- und Zweifamilienhäusern, auf welche die Beratung primär abzielt, bestehen keine besonderen Anforderungen an die Trinkwarmwassertemperatur (DVGW 2023; Rühling 2024), sodass dessen Erzeugung dort kein Hemmnis darstellt. Darüber hinaus können moderne Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln typischerweise Temperaturen bis etwa 70 °C bereitstellen. Wenngleich dies für einen effizienten Heizbetrieb nicht zweckmäßig ist, stellen die in Mehrfamilienhäusern geltenden Anforderungen einer Mindesttemperatur von 65 °C deshalb kein grundsätzliches Hemmnis dar. Lösungsansätze zur Temperaturabsenkung werden unter anderem in Rühling (2024) und Kropp et al. (2020) untersucht.

1.4 Alleinstellungsmerkmale des Gebäudecheck Wärmepumpe

Es existieren Beratungstools für Wärmepumpen mit Unterschieden in Fokus, Beratungstiefe, Zielgruppe und Art der Anwendung. Die Abbildung 2 zeigt eine Übersicht der relevanten Tools hinsichtlich deren Detailebene und Komplexität. Der Gebäudecheck Wärmepumpe liegt mit einem Fokus auf der Raumebene auf einer höheren Detailebene als beispielsweise der WärmepumpenCheck von co2online oder die Wärmepumpen-Ampel vom FfE. Trotz der umfangreichen Hintergrundberechnungen bleibt das Tool dank einfach erfassbarer Eingabegrößen, eine grafisch unterstützte Nutzerführung und die Möglichkeit nur einen Teil der Räume zu erfassen (Schlechtpunkträume) leicht bedienbar. Deshalb ist die Komplexität im Vergleich zu anderen Anwendungen geringer. Auf der Ebene der raumweisen Heizlastberechnung sei hier der bei einer vollständigen Berechnung kostenpflichtige Heizreport von SHK Info zu nennen. Das gleiche Tool bietet mit dem „Wärmepumpencheck“ eine kostenlose Ersteinschätzung, die jedoch eingeschränkte Ergebnisse und diese nicht für alle Einzelräume enthält.

Abbildung 2 Bestehende Wärmepumpen-Tools und Verortung des Gebäudecheck Wärmepumpe hinsichtlich Detailtiefe und Komplexität.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

In der Tabelle 1 werden die aufgeführten Tools sowie deren Kernthemen und die Ausrichtung hinsichtlich Plattform, Potenzial zur NT-ready Beratung, Komplexität und Zielgruppe zusammengefasst. Weiterhin wird die Abgrenzung zum Gebäudecheck Wärmepumpe beschrieben.

Der vorliegende Bericht gibt neben den methodischen Grundlagen im Kapitel 2 eine detaillierte Übersicht über die Berechnungsmethodik des Gebäudecheck Wärmepumpe, beschreibt getroffene Annahmen, angesetzte Grenzwerte und die Empfehlungslogik der Ergebnisausgabe (siehe Kapitel 3). Im Kapitel 4 wird das umgesetzte Beratungstool und die zugrunde liegende Nutzer*innenführung beschrieben.

Im Kapitel 5 erfolgt ein Exkurs zur Analyse von DIN EN 12831 Berechnungsdaten hinsichtlich der Identifikation von Schlechtpunkträumen. Das Kapitel 6 geht auf die Überprüfung und Plausibilisierung des Gebäudecheck Wärmepumpe ein.

Tabelle 1 Übersicht bestehender Wärmepumpen-Beratungstools

Bezeichnung	Institut	Thema	Plattform	Potential NT-ready	Komplexität	Zielgruppe	Abgrenzung
Heizreport ¹	SHK Info UG	Heizlast DIN EN 12831, Heizflächenauslegung, Hydraulischer Abgleich	Online	Hoch	Mittel	Versierte Laien	Raumweise Heizlast Bezahlpflichtig 149€, Komplexität durch DIN EN 12831 konforme Datenerhebung.
WPsource ²	siz energie+	Planung und Konzept, Diverse Wärmequellen, Heizlast DIN EN 12831, Vordimensionierung und Wirtschaftlichkeit	Excel	Mittel	Hoch	Experten	Komplexität, Kostenbewertung, Hohe Expertise nötig
Wärmepumpen Check ³	co2online	Bewertung WP-Eignung Gebäude anhand Eigenschaften Gebäude, Qualitative Bewertung, Übersicht Maßnahmen	Online	Gering	Gering	Laien	Qualitative Prüfung, keine Erhebung von raumweisen Daten, keine konkreten Maßnahmen
Wärmepumpen-Check ⁴	Zukunft Altbau	Videobasierte Info-Plattform, Bewertung WP-Eignung Gebäude durch spez. Heizlast nach Verbrauch und überschlägigem Bedarf	Online	Gering	Gering	Laien	Gebäudeebene, Basis ist Verbrauch sowie überschlägiger Bedarf, keine raumweise Prüfung
Einzelgebäude-Rechner ⁵	FfE	Wärmequellen-Potential, Einbezug Wärmebedarf anhand Jahresverbrauch	Online	Gering	Mittel	Laien	Fokus Wärmequelle, allgemeine Infos zu Maßnahmen Gebäude

¹ <https://www.heiz.report/de> (SHK INFO UG 2023)² <https://siz-energieplus.de/projekte/enob-futureheatpump-ii-erweiterung-und-ausbau-des-vordimensionierungsprogramms-wpsource> (Bockelmann 2018; siz energie+ 2023)³ <https://www.co2online.de/service/energiesparchecks/waermepumpencheck/> (co2online 2023)⁴ <https://www.zukunftaltbau.de/eigentuermer/heizung-erneuerbare-energie/wegweiser-waermepumpe/>⁵ <https://waermepumpen-ampel.ffe.de/> (FfE 2023)

2 Grundlagen

2.1 Heizen mit Wärmepumpen

Kompressions-Wärmepumpen³ sind eine klimaschonende Alternative, Neubauten und Bestandsgebäude mit Wärme für Heizung und Warmwasser zu versorgen. Wärmepumpen nutzen Umweltwärme, um unter Zuhilfenahme von elektrischer Energie Heizungswasser zu erwärmen. Die meisten neu installierten Wärmepumpen nutzen Außenluft als Wärmequelle (ca. 92 %), gefolgt von Erdreich (ca. 7 %) und Grundwasser (ca. 1 %) (bwp 2025a).

Wurden Wärmepumpen lange Zeit überwiegend in Neubauten installiert, überwiegt seit 2020 die Anzahl der Installationen in Bestandsgebäuden (bwp 2025b). Dass Wärmepumpen auch in Gebäuden mit höherem Wärmebedarf und Radiator-Heizkörpern hinreichend effizient funktionieren, hat unter anderem der Feldtest von *Günther et al. (2020)* nachgewiesen. Jedoch ist in der Regel ein höherer Planungsaufwand erforderlich, da die Effizienz von Wärmepumpen maßgeblich von der bereitzustellenden Vorlauftemperatur abhängt – je niedriger sie ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe.

Leistungszahl und Jahresarbeitszahl

Dem Funktionsprinzip der Wärmepumpe liegt ein linksläufiger thermodynamischer Kreisprozess zugrunde. Entsprechend kann die Leistungszahl des idealen Carnot-Prozess COP_{carnot} (engl. Coefficient of Performance) in Abhängigkeit von der Temperatur der Wärmeaufnahme T_K und der Wärmeabgabe T_H durch den Carnot-Faktor beschrieben werden (Dohmann 2016):

Formel 1:
$$COP_{\text{carnot}} = \frac{T_H}{T_H - T_K}$$

Hieraus geht der grundlegende Zusammenhang hervor, dass die Effizienz einer Wärmepumpe im umgekehrt proportionalen Verhältnis zur Temperaturdifferenz steht. Die Effizienz einer Wärmepumpe wird somit maßgeblich durch die Temperatur der Wärmequelle sowie die Heizkreis-Vorlauftemperatur bestimmt, weshalb letztere als Benchmark für die Wärmepumpeneignung herangezogen wird (siehe hierfür Kapitel 2.4).

Die reale Leistungszahl von Wärmepumpen liegt in einer Größenordnung von 40 % bis maximal 60 % des COP_{carnot} . Maßgeblich für die Beschreibung der Gesamteffizienz einer Wärmepumpe ist hingegen die Arbeitszahl, welche die über einen festen Zeitraum abgegebene Wärmemenge ins Verhältnis zur dafür aufgewandten elektrischen Energie setzt. Auf den Betriebszeitraum von einem Jahr bezogen resultiert die gängige Größe Jahresarbeitszahl (JAZ).

Wärmequellen

Luft-Wärmepumpen nutzen die Außenluft, in dem diese mittels Ventilatoren durch den als Lamellen-Wärmeübertrager ausgeführten Verdampfer befördert wird. Die Wärmeaufnahme erfolgt somit direkt aus der Umgebungsluft, was die Installation gegenüber anderen Wärmequellen einfacher und kostengünstiger macht, jedoch zugleich zu jahreszeitlich schwankenden Leistungszahlen führt. Im Temperaturbereich von etwa -2 bis 5 °C kommt es insbesondere bei hoher Luftfeuchte aufgrund von Taupunktunterschreitung und Gefrierprozessen am Verdampfer zur Bildung von Reif und Eis. Dies verringert die Effizienz und muss in regelmäßigen Zyklen abgetaut werden, was zu einer Effizienzminderung führt. Die Ventilatoren verursachen zudem Schallemissionen. Moderne Luft-Wärmepumpe können die

³ Thermisch angetriebene Ab- und Adsorptions-Wärmepumpen haben für die Beheizung von Wohngebäuden keine Relevanz. Im Folgenden wird daher auf die Spezifizierung der elektrisch angetriebenen Kompressions-Wärmepumpe verzichtet.

Heizleistung in einem großen Teillastbereich modulieren. Dies führt zu einer deutlichen Reduktion der An- und Ausschaltvorgänge des Verdichters und somit zu höheren Jahresarbeitszahlen und einer höheren Lebensdauer der Anlage.

Zur Nutzung von Erdreichwärme kommen Sole-Wärmepumpen zum Einsatz, die das Erdreich zumeist durch Erdwärmesonden oder Flachkollektoren erschließen. Erdwärmesonden werden meist als Doppel-U-Sonden in einer etwa 100 m tiefen Bohrung ins Erdreich eingebracht. Mit Frostschutzmittel versetztes Wasser, die Sole, transportiert die Wärme ab. Es wird eine Genehmigung der unteren Wasserbehörde benötigt und ein professionelles Bohrunternehmen muss die Bohrung durchführen. In dieser Tiefe herrscht je nach Geologie eine ungestörte Erdreichtemperatur von 10 bis 15 °C. Die Erdreichtemperatur fällt im Laufe der Heizperiode um bis zu 10 K ab. Als weitere Erdreich-Wärmequellen werden insbesondere Flachkollektoren (in circa 1,5 m Tiefe verlaufende Kunststoffrohre) sowie Erdwärmekörbe oder Grabenkollektoren verwendet. Die Installationskosten sind hier geringer, das nutzbare Temperaturniveau unterliegt jedoch stärker jahreszeitlichen Schwankungen.

Erdreich-Wärmepumpen arbeiten aufgrund der im Jahresverlauf stabileren und höheren Quellentemperatur effizienter als Luft-Wärmepumpen. In Bestandsgebäuden erreichen Erdreich-Wärmepumpen mittlere Jahresarbeitszahlen von etwa 4. Dahingegen liegt die mittlere JAZ von Luft-Wärmepumpen bei 3 (Günther et al. 2020). In effizienten Gebäuden mit Flächenheizungen können hingegen deutlich höhere JAZ-Werte von 5 bis 6 für Erdreich- und 4 bis 5 für Luft-Wärmepumpen erreicht werden.

Betriebsweisen

Mit sinkender Außenlufttemperatur steigt die Heizlast und somit die erforderliche Heizleistung der Wärmepumpe, weshalb in monoenergetisch ausgelegten Wärmepumpensystemen unterhalb eines so genannten Bivalenzpunktes (dieser liegt typischerweise zwischen -2 und -5°C) mit einem elektrischen Heizstab zugeheizt wird. Aufgrund einer geringen Laufzeit ist der Stromverbrauch des Heizstabs niedrig. Er ermöglicht es aber, die Wärmepumpe kleiner zu dimensionieren, sodass ein ineffizienter Betrieb in geringer Teillast ebenso wie die Anschaffungskosten reduziert werden. Systemisch führen Heizstäbe hingegen zu stärkeren Stromlastspitzen im elektrischen Netz an kalten Wintertagen. Sole-Wärmepumpensysteme werden zum Teil auch monovalent, also ohne zusätzlichen Heizstab, für die Deckung der kompletten Heizlast ausgelegt.

In bivalenten Wärmepumpensystemen wird die Wärmepumpe entweder bei Lastspitzen durch einen Spitzenlasterzeuger – meist Gas- oder Ölheizung – unterstützt (bivalent-parallel) oder der Spitzenlasterzeuger übernimmt unterhalb des Bivalenzpunktes die alleinige Wärmeversorgung (bivalent-alternativ). Diese Systeme ermöglichen aufgrund der Verbrennungstechniken höhere Vorlauftemperaturen, stellen bei der Dekarbonisierung der Heiztechnik jedoch nur eine Brückentechnik dar.

2.2 Heizlastberechnung

Der Gebäudecheck Wärmepumpe basiert auf der Methodik der raumweisen Berechnung der Heizlast. Die Heizlast bezeichnet die Summe der Wärmeverluste eines definierten Volumens⁴. Die Grundlage für die Bemessung von Heizflächen ist der nach den geltenden Normen bestimmte Leistungsbedarf, auch Raumheizlast $\Phi_{HL,i}$ nach DIN EN 12831 in Verbindung mit der DIN/TS 12831-1. Die Trinkwassererwärmung wird gesondert in der DIN 12831-3 behandelt,

⁴ In der energetischen Gebäudebilanzierung sind das Gebäude/die Gebäudeeinheit/der Raum übliche Volumina, für die die Heizlast ermittelt wird. Im Rahmen dieses Projekts wird die Heizlast – in Anlehnung an die aktuell gültige DIN/TS 12831-1 – raumweise ermittelt.

diese findet im Gebäudecheck Wärmepumpe aber keine rechnerische Berücksichtigung (vgl. Kapitel 1.3).

Die Heizlast setzt sich aus den Transmissionswärmeverlusten $\Phi_{T,i}$ und den Lüftungswärmeverlusten Φ_V zusammen. Die optional vorgesehene Aufheizleistung $\Phi_{hu,i}$ die zum Beispiel bei der Nachtabenkung Anwendung findet, wird im Tool nicht abgebildet. In der Europäischen Grundlage EN 12831 finden ferner interne Wärmegewinne Φ_{gain} durch Menschen oder technische Geräte eine mögliche Berücksichtigung. Dies ist in der deutschen Umsetzung DIN EN 12831 nicht vorgesehen. Die Norm-Heizlast für ein Gebäude berechnet sich gemäß nachstehender Formel.

Formel 2:

$$\Phi_{HL,gebäude} = \sum_i \Phi_{T,i} + \Phi_{V,gebäude} + \sum_i \Phi_{hu,i}$$

Für einen beheizten Raum ergibt sich die Heizlast als Summe der raumspezifischen Teilheizlasten analog zur Gebäudeebene. Für den Gebäudecheck Wärmepumpe resultiert bei Vernachlässigung der Aufheizlast:

Formel 3:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$$

Transmissionswärmeverluste

Für die Berechnung der Heizlast des Raumes werden zunächst die *Norm-Transmissionswärmeverluste* eines Raumes $\Phi_{T,i}$ angelehnt an die Methodik der DIN EN 12831 ermittelt. Bauteilscharf wird der Transmissionswärmeverlust jedes den Raum begrenzenden Bauteils $H_{T,k}$ berechnet. Der Verlust durch das Bauteil ergibt sich aus dessen Fläche A_k , Wärmedurchgangskoeffizient U_k , dem Wärmebrückenzuschlag ΔU_{TB} sowie der außerhalb des Raumes direkt an das Bauteil angrenzenden Umgebung $f_{ie,k}$.

Formel 4:

$$H_{T,ie} = \sum_k \langle A_k * (U_k + \Delta U_{TB}) * f_{ie,k} \rangle$$

In Anlehnung an das Nachweisverfahren gem. DIN 4108 Beiblatt 2 werden die Wärmebrückenzuschläge im Beratungstool in Abhängigkeit der Beschaffenheit der Gebäudehülle berücksichtigt. Der Zuschlag beträgt standardmäßig 0,1 W/(m²K). Wenn alle Bauteile die U-Wert-Anforderungen des aktuellen GEG erfüllen, kann dieser auf 0,05 W/(m²K) reduziert werden.

Ferner werden in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831 Temperatur-Korrekturfaktoren entsprechend der Tabelle B.11 verwendet. Dieser Wert beträgt 1,0 bei angrenzender Außenluft, 0,5 bei angrenzenden unbeheizten Räumen und 0,3 bei angrenzendem Erdreich.

Aus dem ermittelten Wärmestrom und der Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und angrenzender Umgebung ergibt sich der Norm-Transmissionswärmeverlust des Raumes $\Phi_{T,i}$ [W]:

Formel 5:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,ig}) * (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

Dabei werden der Norm-Transmissionswärmeverlust des Raumes über an Außenluft grenzende Bauteile $H_{T,ie}$ [W/K], an anders beheizte Räume angrenzende Bauteile $H_{T,ig}$ sowie an Erdreich angrenzende Bauteile $H_{T,ia}$ berücksichtigt und die Wärmeverluste anhand der Temperaturdifferenz von Norm-Innentemperatur $\theta_{int,i}$ und Norm-Außentemperatur θ_e ermittelt.

Die Norm-Innentemperatur beträgt im Gebäudecheck Wärmepumpe standardmäßig 20 °C, kann jedoch durch Nutzereingaben raumweise definiert werden. Auf die höhere Norm-Innentemperatur von Badezimmern von 24 °C wird im Tool hingewiesen. Die Norm-Außentemperatur wird automatisiert anhand der Postleitzahl unter Verwendung der tabellarisierten Werte des nationalen Anhangs der DIN EN 12831 bestimmt.

Lüftungswärmeverluste

Die *Norm-Lüftungswärmeverluste* werden in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren der DIN EN 12831 berechnet. In die Berechnung fließen die Norm-Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, das Raumvolumen V_i , der Mindestluftwechsel $n_{\min,i}$, die Luftdichte ρ sowie die spezifische Wärmekapazität von Luft bei der Norm-Innentemperatur c_p ein.

Im Sinne der Vereinfachung von Tools und Methodik werden die drei letztgenannten Variablen als konstant angenommen, wobei für den Mindest-Luftwechsel $n_{\min}$ in Anlehnung an die Norm ein für Wohngebäude typischer Wert von $n_{\min} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ angenommen wird.

Formel 6:

$$\phi_{V,i} = \rho * c_p * n_{\min,i} * V_i * (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$$

2.3 Heizkörperleistung

Die Leistung eines Heizkörpers wird in dem normativ in der EN 442 beschriebenen Verfahren unter Norm-Bedingungen ermittelt. Üblicherweise stellen Hersteller von Heizkörpern die Leistung ihrer jeweiligen Produkte tabellarisiert zur Verfügung. Eine herstellerunabhängige Referenztabelle mit Leistungen und Heizkörperexponenten für die gängigen Heizkörpertypen in verschiedenen Abmessungen und Ausführungen ist im branchenüblichen Standardwerk *Rechnagel* enthalten (Albers et al. 2024). Die Heizkörperleistungen sind an dieser Stelle für Norm-Bedingungen bei 75 °C Vorlauftemperatur, 65 °C Rücklauftemperatur und 20 °C Innenlufttemperatur angegeben und dienen als Grundlage für die Ermittlung der Heizkörperleistung des nutzerseitig eingegebenen Heizkörpers bei Norm-Bedingungen.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts sollen Aussagen zu Heizkörperleistungen bei Bedingungen abseits der Norm getroffen werden. Die Abweichungen von den Norm-Bedingungen betreffen hauptsächlich die Vorlauf-, Rücklauf- und Rauminnentemperaturen. Um die Leistung eines Heizkörpers bei nicht normativen Bedingungen zu ermitteln, werden mehrere Parameter benötigt. Zuvorderst die mittlere logarithmische Übertemperatur bei Norm-Bedingungen sowie bei Auslegungsbedingungen. Dabei ist die logarithmische Übertemperatur bei Norm-Bedingungen konstant mit 49,83 K. Die mittlere Übertemperatur $\Delta\theta_m$ [K] wird gemäß nachstehender Formel ermittelt.

Formel 7:

$$\Delta\theta_m = \frac{\theta_{VL} - \theta_{RL}}{\ln \frac{\theta_{VL} - \theta_{RL}}{\theta_{RL} - \theta_R}}$$

Die logarithmische Übertemperatur hängt von der Vorlauftemperatur θ_{VL} , der Rücklauftemperatur θ_{RL} sowie der Raumtemperatur θ_R ab.

Die Leistung des nutzerseitig eingegebenen Heizkörpers wird mithilfe der Übertemperatur unter Auslegungsbedingungen berechnet. Hierzu wird basierend auf dem Benchmark Niedertemperatur-ready Standard eine nominale Heizkreis-Vorlauftemperatur von 55 °C zugrunde gelegt. Die Berechnung der Heizkörperleistung bei Auslegungsbedingungen

$\dot{Q}_{\text{HK,Auslegung}}$ wird somit mit 55 °C Vorlauf- und 45 °C Rücklauftemperatur sowie der nutzerseitig gewünschten Raumtemperatur gemäß der umgestellten zweiten Heizkörpergleichung durchgeführt.

Formel 8:

$$\dot{Q}_{\text{HK,Auslegung}} = \dot{Q}_{\text{HK,Norm}} \left(\frac{\Delta\vartheta_{\text{m,Auslegung}}}{\Delta\vartheta_{\text{m,Norm}}} \right)^n$$

Dabei wird die heizkörperspezifische Leistung bei Norm-bedingungen $\dot{Q}_{\text{HK,Norm}}$ abhängig von der mittleren Übertemperatur bei Auslegungsbedingungen $\Delta\vartheta_{\text{m,Auslegung}}$, der mittleren Übertemperatur bei Norm-Bedingungen $\Delta\vartheta_{\text{m,Norm}}$ sowie des heizkörperspezifischen Heizkörperexponenten n umgerechnet.

Im Gebäudecheck Wärmepumpe wird zur Beurteilung der Wärmepumpeneignung der Deckungsgrad des Raumes bei 55 °C Vorlauftemperatur herangezogen. Der vorlauftemperaturabhängige Deckungsgrad f_{HK} beschreibt das Verhältnis von der summierten Heizkörper-Wärmeleistung eines Raumes zur nominalen Heizlast des Raumes:

Formel 9:

$$f_{\text{HK}}(T_{\text{VL}}) = \frac{\dot{Q}_{\text{HK,Auslegung}}(T_{\text{VL}})}{\Phi_{\text{HL,gebäude}}}$$

Bei einem Deckungsgrad über 1 liegt eine Überdeckung vor und die Sollraumtemperatur kann durch die Heizkörper bei der gewählten Vorlauftemperatur erreicht werden. Ist der Deckungsgrad kleiner als 1 besteht eine Unterdeckung, sodass die Sollraumtemperatur am Auslegungspunkt nicht erreicht werden kann. Da die DIN EN 12831 die Heizlast im Allgemeinen überschätzt (vgl. Kapitel 3.3.6), wird der Deckungsgrad ohne zusätzliche Sicherheitszuschläge zur Beurteilung einer ausreichenden Wärmelastdeckung herangezogen.

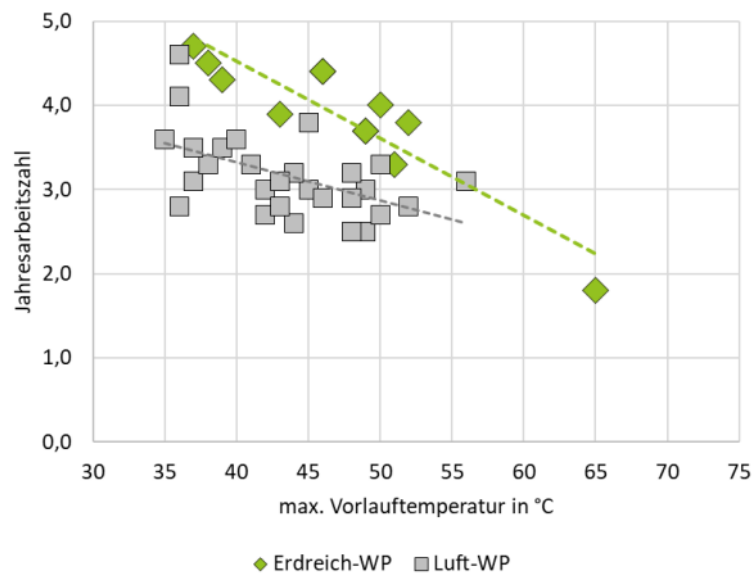
2.4 Niedertemperaturfähigkeit und NT-ready Standard

Entsprechend der Ausführungen in Kapitel 2.1 sollte für die effiziente Wärmeversorgung eines Gebäudes mit einer Wärmepumpe eine möglichst niedrige Vorlauftemperatur angestrebt werden. Bei Bestandsgebäuden sind die Möglichkeiten der Einflussnahme auf die Vorlauftemperatur im Vergleich zu einem Neubau verringert. Umfassende Modernisierungsmaßnahmen oder der nachträgliche Einbau einer Fußbodenheizung wären mit hohen Investitionen verbunden. Daher fokussiert der Niedertemperatur-ready-Standard (NT-ready) auf den hydraulischen Abgleich, einen Austausch von Heizkörpern gegen leistungstärkere Heizkörper in den kritischen Räumen und auf eine pragmatische Verminderung der Wärmeverluste. Durch NT-ready soll in erster Linie der effiziente Betrieb einer Wärmepumpe ermöglicht werden und verhindert werden, dass mangels Vorbereitung erneut fossile Heizkessel installiert werden.

Dass ab 55 °C Vorlauftemperatur der Betrieb von erneuerbaren – und fossilen – Wärmeerzeugern deutlich effizienter und somit kostengünstiger wird, zeigt das ifeu in der Studie „Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich“ (Mellwig et al. 2021). Aus der Modellierung von jeweils zwei für den deutschen Gebäudebestand typischen Ein- und Mehrfamilienhäusern wird abgeleitet, dass eine Vorlauftemperatur von unter 55 °C für Wärmepumpen, solarthermische Anlagen, Wärmenetze sowie Gas-Brennwert- und Ölkessel einen um bis zu 14 % effizienteren Heizbetrieb ermöglicht. Unterhalb dieser Temperatur sind Wärmepumpen aufgrund der dann höheren Effizienz und eines somit geringeren Stromverbrauchs eine wirtschaftliche Alternative zu einem fossil betriebenen Kessel.

Auf Basis der umfangreichen Feldmessung des Fraunhofer ISE (2020) von über 100 Gebäuden mit Wärmepumpe kann der Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz der Wärmepumpe abgeleitet werden (vgl. Abbildung 3). Die mittlere JAZ von Luft-Wärmepumpen bei 55 °C nominaler Vorlauftemperatur beträgt demnach circa 2,7, diejenige von Erdreich-Wärmepumpen liegt unter diese Bedingungen bei etwa 3,1. Aus einer tiefergehenden Analyse der linearen Abhängigkeiten der Jahresarbeitszahl (Bilanzgrenze JAZ3) von der mittleren Vorlauftemperatur in Lämmle *et al.* 2023) auf Basis eines umfangreicheren Datensatzes resultiert eine vergleichbare JAZ der Luft-Wärmepumpen und eine JAZ von sogar 3,6 für Erdreich-Wärmepumpen.

Abbildung 3: Gemessene Jahresarbeitszahlen in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu) auf Basis von Günther et al. (2020)

NT-ready: Mehr Effizienz für alle Heiztechniken

Wärmenetze zeigen bei niedrigeren Vorlauftemperaturen geringere Verteilverluste, die sich kostensenkend auswirken. Auch für die historischen, fossilen Wärmeerzeuger wird die Effizienz verbessert: Der effiziente Brennwertbetrieb eines Gaskessels setzt erst bei unter 56 °C Vorlauftemperatur ein, bei Ölkesseln wird ab unter 47 °C Vorlauf der Brennwert des Energieträgers an Stelle des Heizwerts genutzt.

Die Synergieeffekte zwischen effizienten Gebäuden und Wärmepumpen werden gemeinsam von FIW und ifeu in Holm *et al.* (2023) tiefergehend untersucht. Es wird eine günstige Auswirkung von Gebäudedämmung auf die Resilienz der Einzelgebäude gegenüber Energiepreissteigerungen festgestellt. Ferner beugt eine effiziente Gebäudehülle technischen Problemen von Wärmepumpen vor, da diese optimal bei niedrigen Vorlauftemperaturen und hohem Durchfluss arbeiten. Dies ist in gänzlich ungedämmten Altbauten oft nicht möglich.

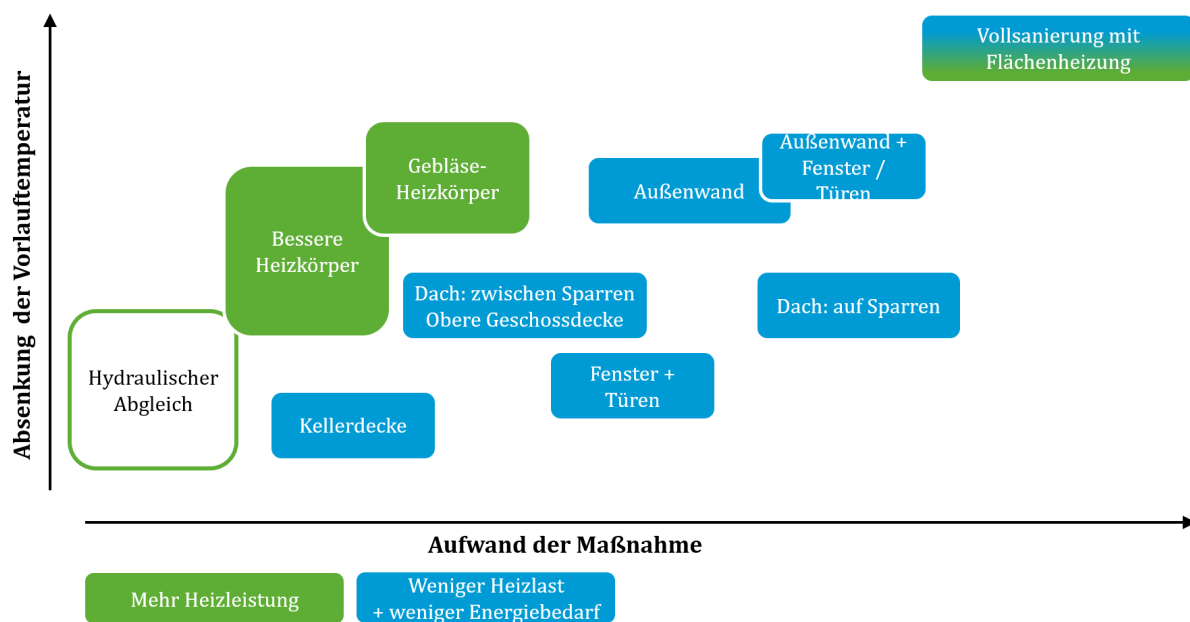
Aus systemischer Sicht sind weiterhin die erreichbaren Synergieeffekte mit dem Energiesystem von Interesse. In Holm *et al.* (2023) wird gezeigt, dass nur effiziente Gebäude ausreichend flexibel betrieben werden können, um in einem erneuerbaren Energiesystem Stromlastspitzen an sehr kalten Wintertagen ausreichend zu reduzieren, um eine Überlastung des Stromnetzes effektiv zu vermeiden. Nicht gedämmte Gebäude benötigen insbesondere bei sehr geringen

Außentemperaturen weitaus mehr Strom für die Beheizung mittels Wärmepumpe. Eine Leistung, die heute nicht aus erneuerbarem Strom gedeckt werden könnte und auch in Zukunft eine zusätzliche Anforderung an das Stromnetz und den Ausbau erneuerbarer Energien bedeuten würde.

Im Zuge dieser Erkenntnis wurde der NT-ready Standard entwickelt. Er beschreibt Gebäude, die alle beheizten Räume am Auslegungspunkt (bei Norm-Außentemperatur) mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 55 °C nach den tatsächlichen Bedürfnissen der Nutzer*innen beheizen können. Dies wird durch gezielte, geringinvestive Maßnahmen an der Heizungsanlage, der Wärmeverteilung und -übergabe, der Gebäudehülle, der digitalen Steuerung oder der Warmwasseraufbereitung ermöglicht (Holm et al. 2023).

Die Niedertemperaturfähigkeit von Gebäuden hängt folglich im Wesentlichen von der Heizlast der Räume und der Heizleistung der Heizkörper ab. Während der Austausch von Heizkörpern zur Erhöhung der Heizleistung der effizienteste und günstigste Weg zur Reduktion der Vorlauftemperatur ist, ist der Hauptnutzen von Modernisierungsmaßnahmen die Reduktion der Wärmeverluste und somit der Energiekosten des Gebäudes. Die Abbildung 4 verdeutlicht den qualitativen Zusammenhang zwischen Aufwand und Nutzen unterschiedlicher Maßnahme zur Absenkung der Vorlauftemperatur.

Abbildung 4: Einfluss und Aufwand von Maßnahmen sowie deren Einfluss auf die Vorlauftemperatur im Heizkreis auf Basis von (Mellwig et al. 2021).



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

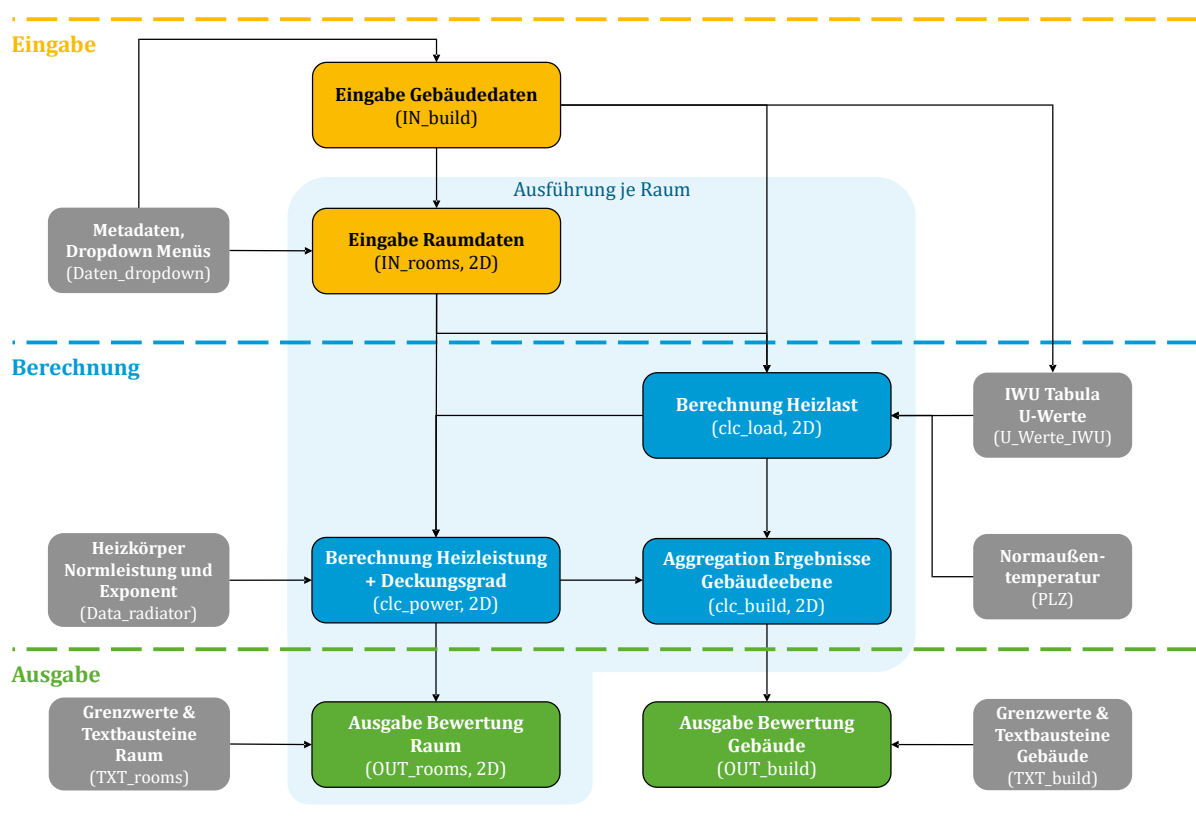
Grundsätzlich gilt, dass der Betrieb einer Wärmepumpe in jedem Gebäude möglich ist – auch wenn dieses den NT-ready-Standard noch nicht erfüllt. Moderne Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln erreichen oftmals Vorlauftemperaturen von 70 °C, die gewöhnlich für die Beheizung von Gebäuden ausreichen. Entsprechend der im Kapitel 2.1 geschilderten Zusammenhänge, führt dies jedoch zu einem sehr ineffizienten und nicht wirtschaftlichen Betrieb des Wärmepumpensystems. Auch für das Stromsystem und die Netze stellen die Wärmepumpensysteme dann eine hohe Belastung dar.

3 Methodik

In diesem Kapitel wird eingangs die übergeordnete Methodik sowie die darin notwendigen Teilschritte (vgl. Kapitel 3.1) beschrieben. Die nachfolgenden Kapitel 3.2 und 3.3 gehen auf Datenquellen und kleine Vereinfachungen der Methodik ein. Im Kapitel 3.4 werden umfangreichere Vereinfachungen im Zuge der Berechnung von Dachgeschossräumen beschrieben. Weiterhin wird die Ausgabelogik beschrieben (vgl. Kapitel 3.5).

Nachfolgend wird die Methodik anhand von Eingabegrößen (gelb), Berechnungsschritten (blau), Datengrundlagen (grau) und Ergebnissen / Ausgabegrößen (grün) visuell dargestellt und beschrieben. Die Abbildung 5 zeigt eine Übersicht des Ablaufs der Methodik. Dabei sind die zugehörigen Sheets der Excel-Vorlage, die der Webanwendung zugrunde liegt, in Klammern aufgeführt. „2D“ steht hier für eine Ausführung der Berechnungsschritte je angelegtem Einzelraum, welche in Excel spaltenweise erfolgt.

Abbildung 5 Übergeordnetes Ablaufschema der Methodik für Eingaben, Berechnungsschritte und Ausgaben. Zugehörige Excel-Sheets in Klammern.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Erfassung der Gebäudedaten erfolgt einmalig zu Beginn des Tools. Anschließend erfolgt eine Abfrage von kritischen Räumen, die für eine detaillierte Erfassung angelegt werden (siehe Kapitel 4.2). Es steht den Nutzer*innen frei, weitere Räume anzulegen. Der Fokus auf kritische Räume folgt der Tatsache, dass ein Gebäude nicht niedertemperaturfähig ist, wenn mindestens ein Raum dieses Kriterium nicht erfüllt. Zur Vereinfachung der Überprüfung dieser Maßgabe, bei gleichzeitiger Begrenzung des Eingabeaufwands, ist es zweckmäßig, die Eingabe auf Schlechtpunkträume zu konzentrieren.

Zunächst erfolgt die Dateneingabe (gelb) für das Gebäude sowie für den Einzelraum. Anschließend werden die Heizlast, die Heizkörperleistung und die Heizlastdeckung berechnet

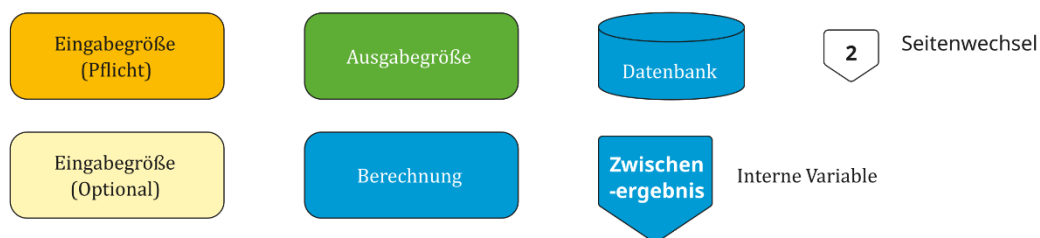
(blau). Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für die Ausgabe der Raumbewertung (grün), die je im Anschluss an die Eingabe eines Raumes erfolgt. Für die abschließende Bewertung des Gebäudes erfolgt eine Aggregation der Raumergebnisse.

3.1 Berechnungsschritte

Die nachfolgenden Abbildungen dienen der Beschreibung der Methodik des Tools zur Ermittlung von Raumheizlast, Heizleistung und dem durch die Heizkörper deckbaren Anteil der Heizlast (Deckungsgrad). Dabei werden die Eingabegrößen als Eingangsvariablen aufgeführt, der Fokus liegt jedoch auf deren Weiterverarbeitung. Im Kapitel 3.5 zur Umsetzung werden diese Eingangsgrößen in Flussdiagrammen zur Dateneingabe mit einem Fokus auf dem Eingabepfad und Antwortmöglichkeiten dargestellt (Abbildung 16 bis Abbildung 19).

Die Abbildung 6 zeigt eine Übersicht der verwendeten Symbole und Farben im Flussdiagramm. Eingabegrößen sind gelb (dunkelgelb: Pflichtfelder, hellgelb: optionale Felder) und Ausgabegrößen sind grün. Berechnungsschritte und Datenbanken (Speicher-Symbol) werden blau dargestellt. Werden die resultierenden Werte weiterverwendet, wird dies durch Seitenverbinder dargestellt.

Abbildung 6 **Legende - Erläuterung der Symbole und Farben im Flussdiagramm**



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Anhand der Abbildung 7 wird die Ermittlung der erforderlichen Basisdaten des Gebäudes, insbesondere der Bauteil-U-Werte, beschrieben. Diese werden auf Basis der Eingabedaten mit Hilfe der TABULA Datenbank ermittelt (Loga et al., 2015). In Einzelfällen wurde auf Basis der Plausibilitätsprüfung im Kapitel 6 eine Korrektur der Werte aus der TABULA Datenbank vorgenommen. Dies betrifft insbesondere die U-Werte von Dachflächen und Decken / Fußböden gegen unbeheizte Räume. Bei nachträglicher Modernisierung wird diese durch serielle Berechnung des U-Wertes anhand von Eingabewerten oder Abschätzungen (vgl. Kapitel 3.3.1) berücksichtigt. Zudem wird ein pauschal festgelegter Wärmebrückenzuschlag ΔU_{TB} berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.2, Formel 4).

Der Gebäudestandort dient der Bestimmung der Normaußentemperatur. Weiterhin finden Abfragen statt, die der Vorprüfung des Gebäudes dienen sowie mögliche Einschränkungen bei der Anwendung des Gebäudecheck Wärmepumpe abprüfen, um diese den Nutzer*innen frühzeitig zu kommunizieren. Die Approximation der nominalen Vorlauftemperatur abhängig von Angaben zur Vorlauftemperatur und zugehöriger Außentemperatur wird in Kapitel 3.3.1 beschrieben.

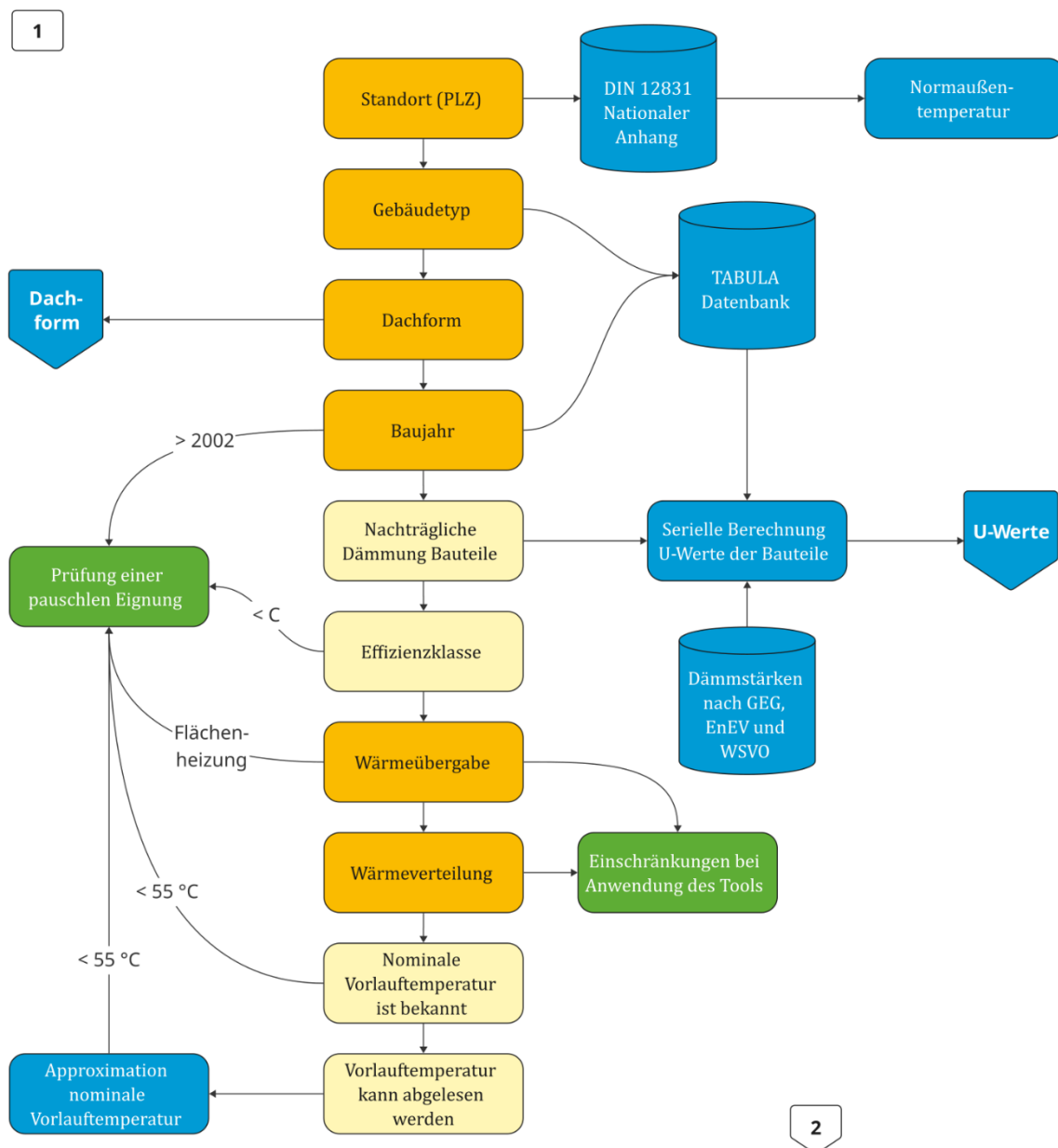
Die Erhebungen und Berechnungen zur Raumheizlast werden in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt. Abbildung 8 beschreibt die Erfassung übergeordneter Daten wie Raumfläche und Raumtemperatur sowie die Berechnungsschritte zur Raumheizlast bei einem Geschossraum (ohne Dachflächen). Es resultieren die Lüftungsverluste (Q_{vent}) sowie die Transmissionswärmeverluste durch Decke (Q_{trans_Decke}), Boden (Q_{trans_Boden}),

Außenwände (Q_{trans_AW}), Fenster ($Q_{trans_fenster}$) und Innenwände gegen unbeheizt (Q_{trans_IW}). Diese basieren auf den ermittelten Flächen, U-Werten und der nominalen Temperaturdifferenz.

Für die Bauteile Außenwand und Fenster findet eine raumweise Präzisierung des Dämmstandards beziehungsweise U-Werts statt, da diese mitunter für die Räume des Gebäudes oder auch individuell variieren. Die U-Werte der übrigen Bauteile richten sich nach den auf Gebäudeebene ermittelten Kennwerten. Für Decke und Boden wird ein Korrekturfaktor $f_{ie,k}$ anhand der Angaben zum angrenzenden Volumen bestimmt (vgl. Kapitel 2.2, Formel 4).

Die Fensterfläche wird von der anhand Länge und Höhe berechneten Wandfläche abgezogen. Innenwände werden nur abgefragt, wenn diese gegen unbeheizte Räume grenzen.

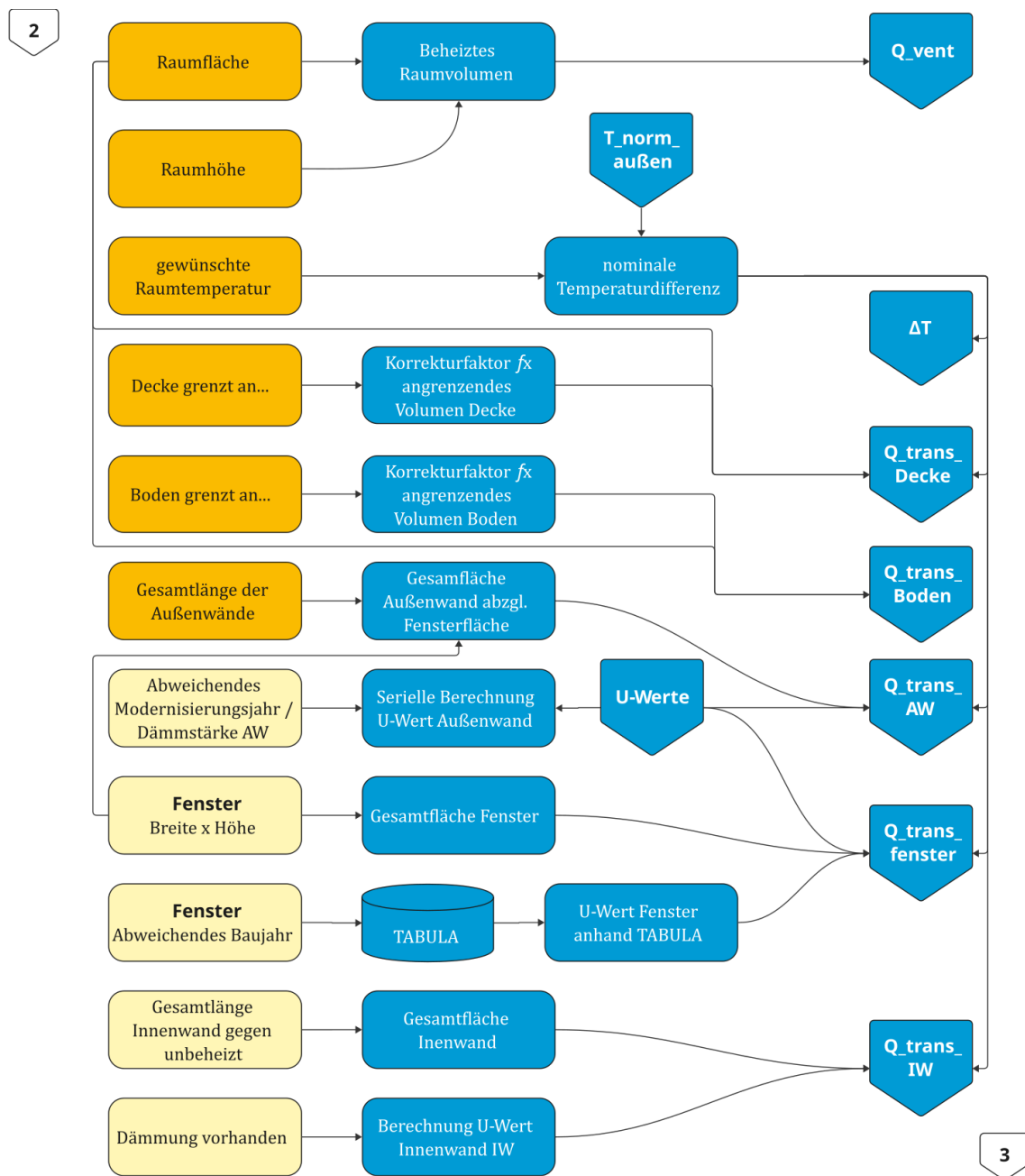
Abbildung 7 Eingabe der Gebäudedaten mit Berechnungen.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Abbildung 9 enthält die Abfragen und Berechnungsschritte für Dachräume. Dabei kann die Ermittlung der Dach- und Deckenfläche auf zwei Wegen erfolgen (vgl. Kapitel 3.5, Abbildung 18). Es resultieren analog zur Abbildung 8 Transmissionswärmeverluste für die durch den Dachraum beeinflussten Bauteile (potenziell alle außer Innenwände und Fenster in Außenwänden) sowie angepasste Lüftungsverluste für Dachräume, differenziert nach Dächern mit und ohne Gaube.

Aufgrund der Einflüsse von Drempeiwänden, Kniestöcken, Dachform und Dachneigung sowie deren Rückwirkung auf Dachfläche, Außenwandfläche und Bodenfläche, hat die tatsächliche Zusammensetzung der Wärmeverluste eines Dachraums eine hohe Komplexität. Diese macht zum Teil Abschätzungen erforderlich. Diese sowie die zugehörigen Berechnungsschritte werden im Kapitel 3.4 beschrieben. Liegen die Transmissionswärmeverluste aller Bauteile sowie die Lüftungswärmeverluste vor, wird unter Einbezug eines Korrekturfaktors für effiziente Gebäudehüllen (vgl. Kapitel 3.3.6) die Raumheizlast berechnet.

Abbildung 8 Eingabe Raumdaten und Berechnung der Heizlast - Teil I.

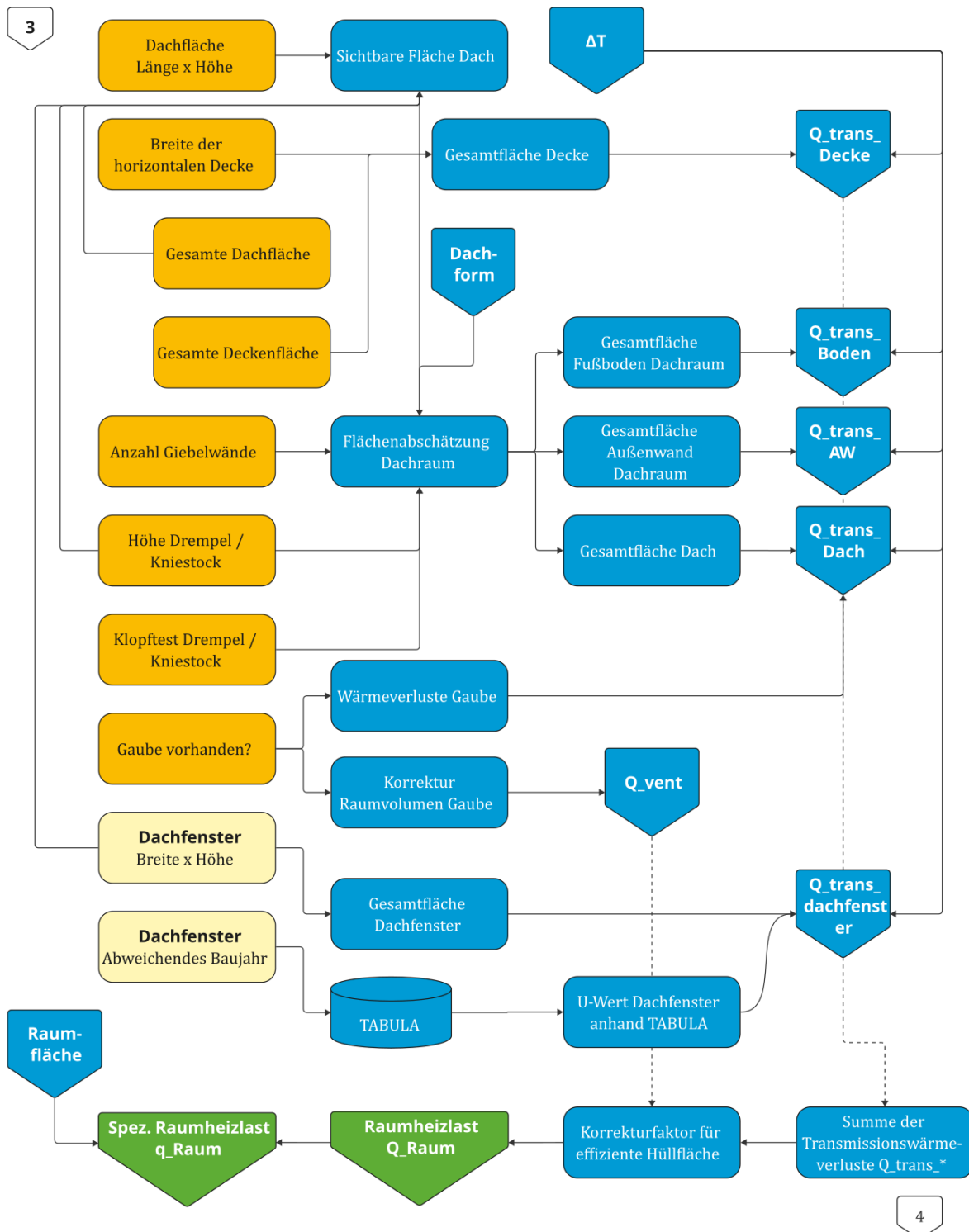
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die anschließende Erfassung und Berechnung der Heizkörper (Flächenheizungen werden nicht erfasst) wird in Abbildung 10 beschrieben. Im Frontend erfolgt eine grafische Auswahl von Heizkörper Typ, Subtyp I und Subtyp II. Abhängig vom Heizkörpertyp werden unterschiedliche Maße des Heizkörpers abgefragt (siehe hierzu Kapitel 3.5, Abbildung 19). Mithilfe einer Heizkörper-Datenbank (vgl. Kapitel 3.2) wird auf Basis von Heizkörpertyp und Heizkörpermaßen die Norm-Heizkörperleistung $\dot{Q}_{HK, Norm}$ sowie der Heizkörperexponent n ermittelt. Anhand dieser Größen wird die Heizkörperleistung bei 55 °C Vorlauftemperatur berechnet (vgl. Kapitel 2.3).

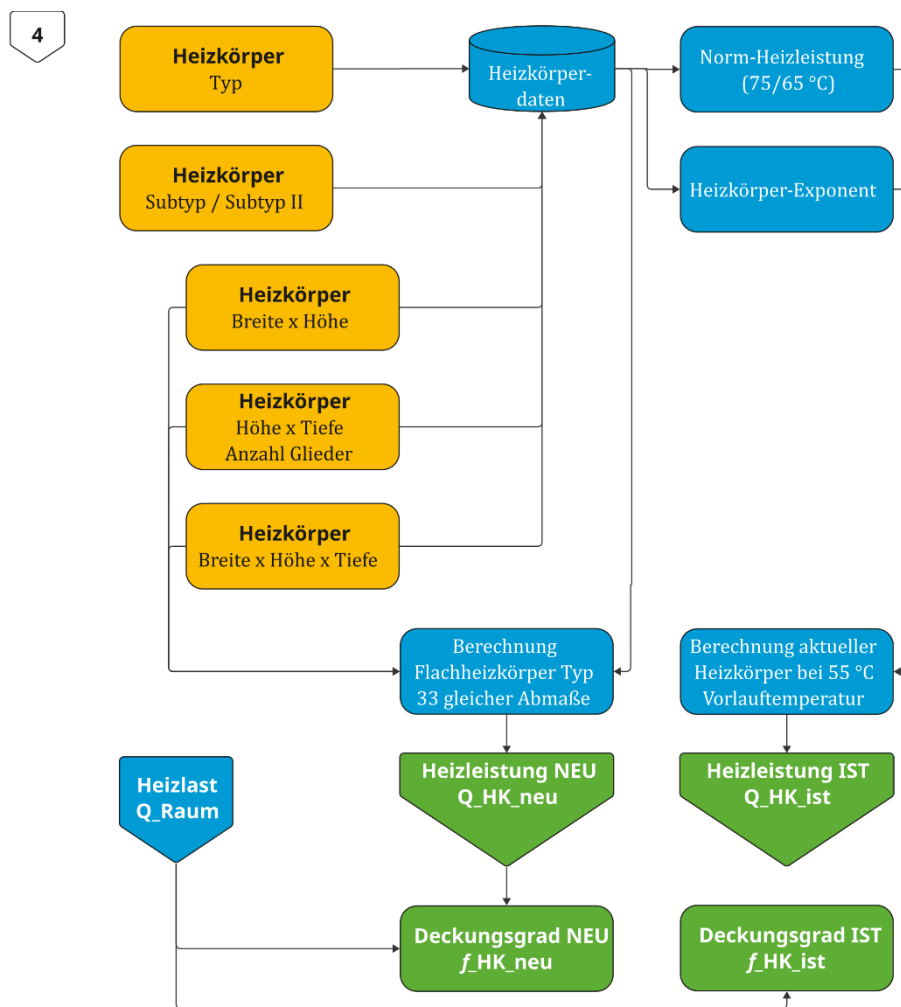
Neben der Heizkörperleistung des aktuellen Heizkörpers erfolgt weiterhin die Berechnung eines Flachheizkörpers senkrecht profiliert Typ 33 mit identischen Außenmaßen (Breite und Höhe). Diese Berechnung dient dazu, das maximale Potenzial eines Heizkörpertauschs zu ermitteln und dem aktuellen Zustand gegenüberzustellen. Der genannte Flachheizkörper vom Typ 33 wird hier

als leistungsstärkster, gängiger Heizkörper herangezogen. Gebläse-Heizkörper werden qualitativ auf der Textebene adressiert, jedoch nicht in die Berechnungen einbezogen. Abschließend wird unter Einbezug der Raumheizlast der Deckungsgrad für den aktuellen Heizkörper sowie für das Potenzial eines Heizkörpertauschs bestimmt.

Abbildung 9 Eingabe Raumdaten und Berechnung der Heizlast - Teil II.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 10 Eingabe Raumdaten und Berechnung der Heizleistung und des Deckungsgrads.

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

3.2 Datenquellen

Die Berechnungen des Gebäudecheck Wärmepumpe greifen auf verschiedene Datenbanken zurück. Diese werden nachfolgend beschrieben.

Die Datenbank **TABULA** („Typology Approach for Building Stock Energy Assessment“) ist ein Projekt des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU), mit weiterer Koordination über das EU-Projekt EPISCOPE, das typisierte Modellgebäude und Gebäudetypologien für verschiedene europäische Länder bereitstellt. Für Deutschland enthält TABULA eine Wohngebäudetypologie, in der repräsentative Beispielgebäude nach Gebäudetypen (z. B. Ein-/Zweifamilienhäuser, Reihenhäuser oder Mehrfamilienhäuser) und Baualtersklassen differenziert sind.

TABULA hat zum Ziel, die energiebezogenen Eigenschaften des Wohngebäudebestands zu dokumentieren und damit Energiebedarfsanalysen zu ermöglichen. Ein zentraler Bestandteil sind die Typgebäude, deren geometrische Merkmale Bauteileigenschaften statistisch repräsentativ erfasst sind. Diese Typgebäude dienen als Standardreferenz, um U-Werte und Energie-Kennzahlen zu ermitteln und mit dem tatsächlichen Bestand zu vergleichen (Loga et al. 2015).

Für den Gebäudecheck Wärmepumpe werden die U-Werte der nicht nachträglich veränderten Bauteile anhand von TABULA mittels Gebäudetyp und Baualtersklasse bestimmt, dies sind:

- ▶ Außenwand
- ▶ Dach
- ▶ Decke
- ▶ Fenster
- ▶ Fußboden

Auf Basis einer Analyse der DIN EN 12831 Heizlastberechnungen von über 100 gebauten Beispielgebäuden im Kapitel 6 wird ersichtlich, dass die U-Werte nach TABULA zum Teil deutliche Abweichungen von der Praxis darstellen. In diesen Fällen wurden diese punktuell korrigiert (siehe hierzu Kapitel 6.1). Bei nachträglicher Dämmung der opaken Bauteile dient der U-Wert nach TABULA als Basis zur seriellen Berechnung des Gesamt-U-Wertes der Bauteile anhand von Dämmstärke und Wärmeleitfähigkeit.

Für die Bestimmung der Heizleistung der Heizkörper wird insbesondere auf die tabellarischen **Heizkörperdaten** nach „Recknagel – Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik“ zurückgegriffen (Albers et al. 2024). Diese Daten enthalten differenziert für die betrachteten Heizkörpertypen, Subtypen und Subtyp II die Norm-Wärmeleistung und den Heizkörperexponenten für unterschiedliche Heizkörpergeometrien (Höhe, Breite, Tiefe, Nabenabstand und Rippenabstand). Diese finden Eingang in die im Kapitel 2.3 beschriebenen Berechnungen.

Für die Berechnung der Heizlast wird die **Normaußentemperatur** herangezogen. Diese wird auf Basis des Nationalen Anhangs der DIN EN 12831 auf Basis der Postleitzahl ermittelt und entspricht dem tiefsten Zweitagesmittel der Lufttemperatur, das in den letzten 20 Jahren zehnmal erreicht wurde.

Des Weiteren finden die **Vorgaben des Gebäudeenergiegesetz (GEG)** beziehungsweise dessen Vorläufer der Energieeinsparverordnung (EnEV) und der Wärmeschutzverordnung (WSVO) Eingang in die Abschätzung der Dämmstärken und U-Werte bei nachträglicher Dämmung von Bauteilen.

3.3 Vereinfachungen und Anpassungen

Wenngleich die grundlegende Methode des Gebäudecheck Wärmepumpe auf der DIN EN 12831 Berechnung zur raumweisen Heizlast basiert, bestehen punktuell Abweichungen, die im nachfolgenden erörtert werden.

Übergeordnet ist zu erwähnen, dass die Webanwendung, anders als die DIN EN 12831, nicht dazu geeignet ist, die Gebäudeheizlast zu bestimmen. Dies liegt daran, dass nicht zwangsläufig alle beheizten Räume des Gebäudes erfasst werden müssen. Außerdem werden einerseits nicht beheizte Räume und andererseits Innenwände und deren Nachbarräume vernachlässigt, sodass ein Wärmeaustausch zwischen den Räumen (sowohl beheizt als auch unbeheizt) nicht betrachtet wird. Dies stimmt mit dem Ziel der Beurteilung der Wärmepumpeneignung anhand der Raumbilanzen überein.

Darüber hinaus berücksichtigt die DIN EN 12831 in ihrer Methodik bewusst weder interne Wärmequellen wie Personen, Beleuchtung oder elektrische Geräte noch solare Warmegewinne. Diese Annahme dient einer konservativen Bemessung der Heizlast, da sie den ungünstigsten Betriebsfall abbildet. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass die Heizungsanlage unter

extremen Randbedingungen ausreichend dimensioniert ist. In der Praxis wirken interne und solare Gewinne jedoch entlastend, wodurch die reale Heizlast meist niedriger ausfällt. Die resultierende Diskrepanz zwischen normativer und tatsächlicher Heizlast ist insbesondere in energieeffizienten Gebäuden von Bedeutung, deren thermische Trägheit und Speicherkapazität kurzfristige Temperaturschwankungen zusätzlich ausgleichen (siehe auch Kapitel 3.3.6).

3.3.1 Extrapolation der nominalen Vorlauftemperatur

Neben diesen Vorberechnungen der effektiven Bauteilkennwerte auf Gebäudeebene wird weiterhin die angegebene Vorlauftemperatur eingeordnet. Die bei einer spezifischen Außentemperatur abgelesene Heizkreisvorlauftemperatur wird einem außentemperaturabhängigen Grenzwert gegenübergestellt. Dieser wird unter Annahme einer linearen Heizkurve mit typischer Steigung ausgehend von der nominellen Vorlauftemperatur bei einer konservativen Normaußentemperatur von -14 °C extrapoliert:

Formel 10:
$$T_{VL}(T_e) = 43,5\text{ °C} - 0,83 \cdot T_e$$

Hierzu sind klare Hinweistexte für die User vorgesehen, die die Aussagekraft einordnen und die Möglichkeit der Abschätzung auf Zeiträume mit stabilen und anhaltenden Außentemperaturen von unterhalb 5°C einschränken.

3.3.2 Abschätzung nachträglicher Modernisierungen

Nachträgliche Modernisierungen von Bauteilen werden in der Datengrundlage TABULA nicht erfasst. Wurde ein Bauteil nachträglich modernisiert, kann dies im Sinne einer niederschweligen Eingabe in drei Schritten präzisiert werden:

1. Vorhandensein einer nachträglichen Modernisierung (Ja/Nein)
2. Auswahl des Modernisierungszeitraums
3. Angabe der Dämmstärke

Je nach Eingabetiefe erfolgt die serielle Berechnung des U-Wertes durch einen Schätzwert abhängig von dem Gebäudebaujahr (Fall 1) oder dem Modernisierungsjahr (Fall 2) oder anhand der angegebenen Dämmstärke (Fall 3). In Fall 3 wird eine pauschale Wärmeleitfähigkeit für Dämmstoffe von 0,04 W/(mK) zugrunde gelegt.

Im Fall 1 wird vereinfacht angenommen, dass Gebäude mit Baujahr vor 1978 im Zeitraum 1995 – 2002 modernisiert wurden und Gebäude mit Baujahr ab 1978 im Zeitraum 2003 – 2008 modernisiert wurden.

Im Fall 1 und 2 wird die Dämmstärke auf Basis des (geschätzten bzw. eingegebenen) Modernisierungszeitraums anhand der jeweils geltenden Vorgaben (WSVO bzw. EnEV) abgeschätzt. Die U-Wert-Vorgaben sowie daraus resultierende Dämmstärken einer nachträglichen Dämmung (bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(mK) und unter Berücksichtigung der aufgeführten U-Werte bei Errichtung) sind in der Tabelle 2 dargestellt. Die resultierenden Dämmstärken stellen leicht konservativere Werte dar, als die in *Cischinsky und Diefenbach (2018)* ermittelten mittleren Dämmstärken von nachträglichen Modernisierungen.

Tabelle 2 U-Wert Vorgaben nach Bauteil und Jahr anhand von WSVO und EnEV, angenommener U-Wert bei Erbauung sowie resultierende Dämmstärke.

Jahr	Bauteil	U-Wert Errichtung	Grundlage	U-Wert	Dämmstärke
Einheit		W/(m²K)		W/(m²K)	cm
1982 und älter	Dach	2	Anlage 2 WSVO 82	0,45	7
1983 - 1994	Dach	2	Anlage 2 WSVO 82	0,45	7
1995 - 2002	Dach	2	Anlage 3 WSVO 94	0,3	11
2003 - 2008	Dach	2	Anhang 3 EnEV 2002	0,3	11
2009 - 2022	Dach	2	Anhang 3 EnEV 2007	0,3	11
2023 und neuer	Dach	2	Anhang 3 EnEV 2009	0,22	16
1982 und älter	Außenwand	1,5	Anlage 2 WSVO 82	0,6	4
1983 - 1994	Außenwand	1,5	Anlage 2 WSVO 82	0,6	4
1995 - 2002	Außenwand	1,5	Anlage 3 WSVO 94	0,5	5
2003 - 2008	Außenwand	1,5	Anhang 3 EnEV 2002	0,35	9
2009 - 2022	Außenwand	1,5	Anhang 3 EnEV 2007	0,35	9
2023 und neuer	Außenwand	1,5	Anhang 3 EnEV 2009	0,24	14
1982 und älter	Fußboden	1,5	Anlage 2 WSVO 82	0,7	3
1983 - 1994	Fußboden	1,5	Anlage 2 WSVO 82	0,7	3
1995 - 2002	Fußboden	1,5	Anlage 3 WSVO 94	0,5	5
2003 - 2008	Fußboden	1,5	Anhang 3 EnEV 2002	0,45	6
2009 - 2022	Fußboden	1,5	Anhang 3 EnEV 2007	0,45	6
2023 und neuer	Fußboden	1,5	Anhang 3 EnEV 2009	0,4	7
1982 und älter	Decke	1,5	Anlage 2 WSVO 82	0,45	6
1983 - 1994	Decke	1,5	Anlage 2 WSVO 82	0,45	6
1995 - 2002	Decke	1,5	Anlage 3 WSVO 94	0,3	11
2003 - 2008	Decke	1,5	Anhang 3 EnEV 2002	0,3	11
2009 - 2022	Decke	1,5	Anhang 3 EnEV 2007	0,3	11
2023 und neuer	Decke	1,5	Anhang 3 EnEV 2009	0,22	16

3.3.3 Innenmaß und Außenmaß

Für die Berechnung der Wärmeverluste eines Bauteils wird in der DIN EN 12831 dessen Außenmaß zugrunde gelegt. Demgegenüber erfassen die Nutzer*innen ihre Räume von innen, es wird also das Innenmaß der Bauteile eingegeben. Zur Abschätzung der Außenmaße wird folgender Aufschlag auf die gemessenen Innenmaße von Außenwand und Dachflächen vorgenommen:

- ▶ Höhe Außenwand: +30 cm für einen typischen Deckenaufbau
- ▶ Breite der Außenwand: + 50 cm für im Mittel zwei Außenwände mit 25 cm Stärke
- ▶ Höhe der Dachfläche: + 30 cm für einseitiges Aufliegen auf der Außenwand.
- ▶ Breite der Dachfläche: + 25 cm für im Mittel eine Giebelwand mit 25 cm Stärke

Letztgenannter Korrekturfaktor wird bei geneigten Dachflächen entsprechend der Anzahl der Giebelwände und bei Flachdächern anhand der Länge der Außenwand angewandt.

3.3.4 Weitere Dateneingabe für Räume

Bei der Erfassung von Räumen ohne Dachfläche (Geschossräume) werden folgende Vereinfachungen der Dateneingabe und Berechnung getroffen:

- ▶ Außenwände werden nicht einzeln erfasst, sondern es wird die summierte Außenwandlänge eingegeben. Dies verkürzt die Dateneingabe, bringt aber die Einschränkung, dass eine einzelne gedämmte Außenwand (bspw. Nordseite) nicht separat eingegeben werden kann. In diesem Fall bestünde die Möglichkeit, eine mittlere Dämmstärke einzugeben.
- ▶ Ein vom Gebäude abweichender energetischer Standard kann nur für die Bauteile Außenwand und Fenster (individuell je Fenster) auf Raumebene präzisiert werden. Dies beruht auf der Tatsache, dass Maßnahmen an den Bauteilen Dach, (Keller-)Decke und Fußboden typischerweise für das gesamte Gebäude stattfinden.
- ▶ Die Eingabe gemischter angrenzender Volumen an die horizontalen Bauteile ist nicht möglich. So kann beispielsweise ein teilweise ausragender Raum oder eine teilweise gegen Außenluft grenzende Decke (bspw. bei einem darüber liegenden Balkon) nicht erfasst werden.
- ▶ Es können keine unterschiedlichen Raum- beziehungsweise Außenwandhöhen in einem Raum eingegeben werden.
- ▶ Außentüren werden nicht separat erfasst, sondern werden gemeinsam mit den Fensterflächen eingegeben und als solche bewertet.
- ▶ Der U-Wert einer Innenwand wurde initial mit $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen, wenn keine Dämmung angegeben wird. Dieser wurde im Zuge der Plausibilitätsprüfung nachträglich auf $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angehoben (vgl. Kapitel 6).

3.3.5 Berücksichtigte Heizflächen-Arten

Bei der Eingabe der Heizflächen wird ein Großteil der gängigen Heizkörpertypen mit deren Subtypen erfasst (vgl. Abbildung 19):

- ▶ Flachheizkörper senkrecht profiliert und glatt
- ▶ Gliederheizkörper
- ▶ Rohrradiator
- ▶ Konvektor

Nicht erfasst werden folgende Heizflächen-Arten, da diese entweder eine geringe Verbreitung haben oder aber keine Limitation für den Wärmepumpen-Betrieb darstellen:

- ▶ Rohrheizkörper: Gewinderohr-, Stahlrohr und Stahlrippenrohr-Heizkörper
- ▶ Fußboden- und Wandheizungen
- ▶ Deckenstrahlplatten
- ▶ Sockelheizkörper

Zur Vereinfachung der Eingaben werden senkrecht profilierte und glatte Flachheizkörper als verschiedene Haupttypen aufgeführt und deren Subtyp II wird gemeinsam mit den übrigen Heizkörpertypen auf Ebene des Subtyp I abgefragt. Die Eingabe der Geometriedaten erfolgt entsprechend dem ausgewählten Heizkörpertyp. Es können bis zu drei verschiedene Heizkörpertypen angelegt und hierfür eine Anzahl festgelegt werden, sodass identische Heizkörper nicht mehrfach eingegeben werden müssen.

Zur Vereinfachung der Dateneingabe und Berechnung werden Handtuchheizkörper (Haupttyp Rohrradiator) nicht anhand der Tabellendaten gefiltert, sondern es wird anhand der Tabellendaten eine einfache Abhängigkeit von der Heizkörperfläche hergeleitet, sodass lediglich die Höhe h_{HK} und Breite b_{HK} des Handtuchheizkörpers erfasst werden müssen:

Formel 11:

$$\dot{Q}_{\text{norm}} = 919 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{h_{HK} \cdot b_{HK}}{10^6} + 76,7 [\text{W}]$$

3.3.6 Korrektur der Heizlast für effiziente Gebäude

Die Berechnung der raumweisen Heizlast nach DIN EN 12831 erfolgt statisch, es werden also innere und solare Warmegewinne sowie dynamische Effekte wie die Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes vernachlässigt. So wird die Heizlast mit einem steigenden energetischen Standard des Gebäudes zunehmend systematisch überschätzt. Diese Gebäude können aufgrund der langsameren Auskühlung Kältephasen besser überbrücken. Aus diesem Grund wird in Rücksprache mit dem begleitenden Fachbeirat ein gestaffelter Abschlagswert auf die Raumheizlast abhängig von deren auf die Raumfläche bezogenen Höhe festgelegt. Dieser beträgt 30 % bei unter 50 W/m² spezifischer Raumheizlast, 20 % bei 50 – 70 W/m² und 5 % bei 70 – 90 W/m². Oberhalb einer spezifischen Raumheizlast von 90 W/m² wird keine Korrektur vorgenommen. Die angenommenen Werte basieren auf der IWU-Formel für den Verbrauchs-Bedarfs-Abgleich (BBSR 2019; Loga et al. 2019).

3.4 Erfassung und Berechnung von Dachräumen: Dachflächen, Gauben und Drempe/Kniestock

Anders als für Geschossräume ist die Vielfalt von Dachräumen deutlich größer, durch beispielsweise Gauben, Walmdächer, Mansarddächer oder asymmetrische Dachformen. Da diese Vielfalt schwierig durch eine einfache und übersichtliche Eingabe abzubilden ist, sieht der Gebäudecheck Wärmepumpe neben der Abbildung von Grundvarianten zusätzlich die Möglichkeit vor, die Dach- und Deckenflächen eines Raumes individuell einzugeben. Im Einzelnen wird bei der Erfassung der Dachfläche zwischen folgenden Fällen unterschieden (vgl. hierzu Abbildung 18):

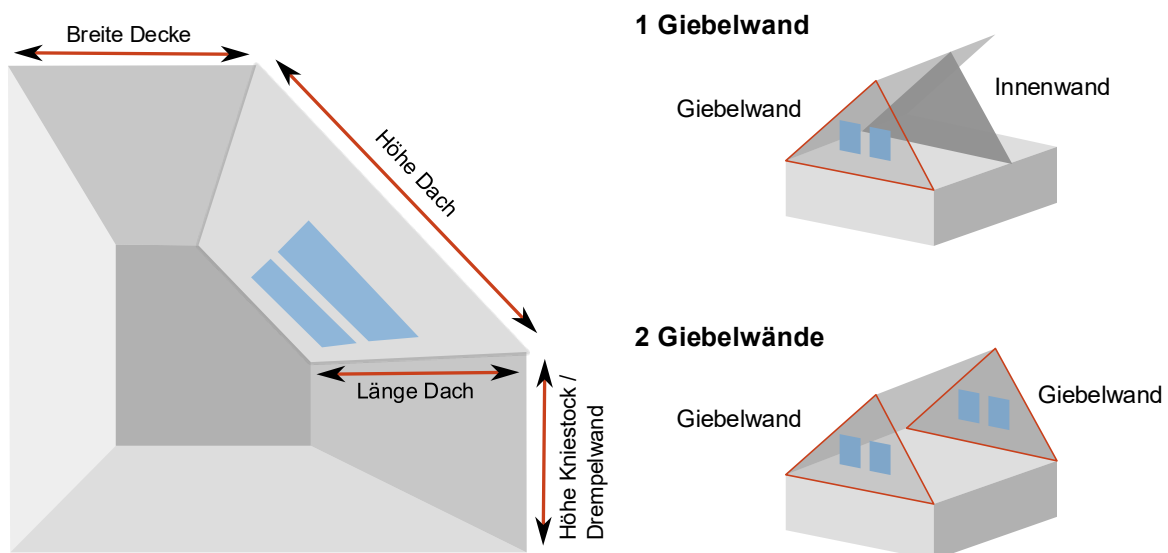
- ▶ Keine
- ▶ Eine Dachfläche, Erfassung von:
 - Länge der Dachfläche l_{Dach}

- Höhe der Dachfläche h_{Dach}
 - Breite der horizontalen Decke b_{Decke}
 - Anzahl der Giebelwände n_{Giebel}
 - Höhe des Kniestocks beziehungsweise der Drempelwand $h_{\text{Kniestock}}$
 - Vorhandensein einer Gaube
- Zwei Dachflächen (symmetrisch), identische Datenerfassung wie bei einer Dachfläche
- Komplexe Dachfläche, Erfassung von:
- Gesamte Dachfläche A_{Dach}
 - Gesamte Deckenfläche A_{Decke}
 - Anzahl der Giebelwände n_{Giebel}
 - Höhe des Kniestocks beziehungsweise der Drempelwand $h_{\text{Knie/Drempel}}$
 - Vorhandensein einer Gaube
- Flachdach (bei Anbau)

Wird für das Gebäude die Dachform „Flachdach“ oder für den Raum „Flachdach (bei Anbau)“ gewählt, wird angenommen, dass die Dachfläche der Raumfläche zuzüglich der Aufschläge für das Außenmaß (vgl. Kapitel 3.3.3) entspricht. Bei Flachdächern besteht kein Einfluss auf die effektive Außenwandfläche (es gibt keine Giebel oder Kniestöcke) oder die effektive Bodenfläche. Diese Flächen entsprechen somit den Eingaben eines Geschossraums.

Wird eine geneigte Dachfläche gewählt, wird die Datenerfassung im Tool anhand der in Abbildung 11 dargestellten Grafiken erläutert.

Abbildung 11 Grafische Hilfestellung zur Erfassung der Bauteilmaße in Dachräumen im Gebäudecheck Wärmepumpe.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Gemeinsam mit der Gebäudeangabe zur Dachneigung werden anhand der angegebenen Parameter folgende effektive Bauteilflächen approximiert:

- ▶ Dachfläche $A_{\text{Dach,tot}}$
- ▶ Bodenfläche $A_{\text{Boden,tot}}$
- ▶ Außenwandfläche / Giebelwandfläche $A_{\text{AW,tot}}$ inklusive Kniestockfläche

In allen Fällen erfolgt dabei eine Vereinfachung gegenüber einer Einzelerfassung der Flächen, beispielsweise anhand von Grundriss und Gebäudeschnitt. Die Methode wird nachfolgend für den Fall eine / zwei Dachflächen sowie für die komplexe Dachfläche beschrieben. Bei der Auswahl „Flachdach (bei Anbau)“ entspricht die Dachfläche der Raumfläche zuzüglich der Korrekturwerte für die Außenmaße (vgl. Kapitel 3.3.1).

Exkurs: Unterschied zwischen Drempelwand und Kniestock

Die Begriffe Drempelwand und Kniestock werden je nach Region zum Teil synonym verwendet. Im vorliegenden Bericht werden diese wie folgt definiert:

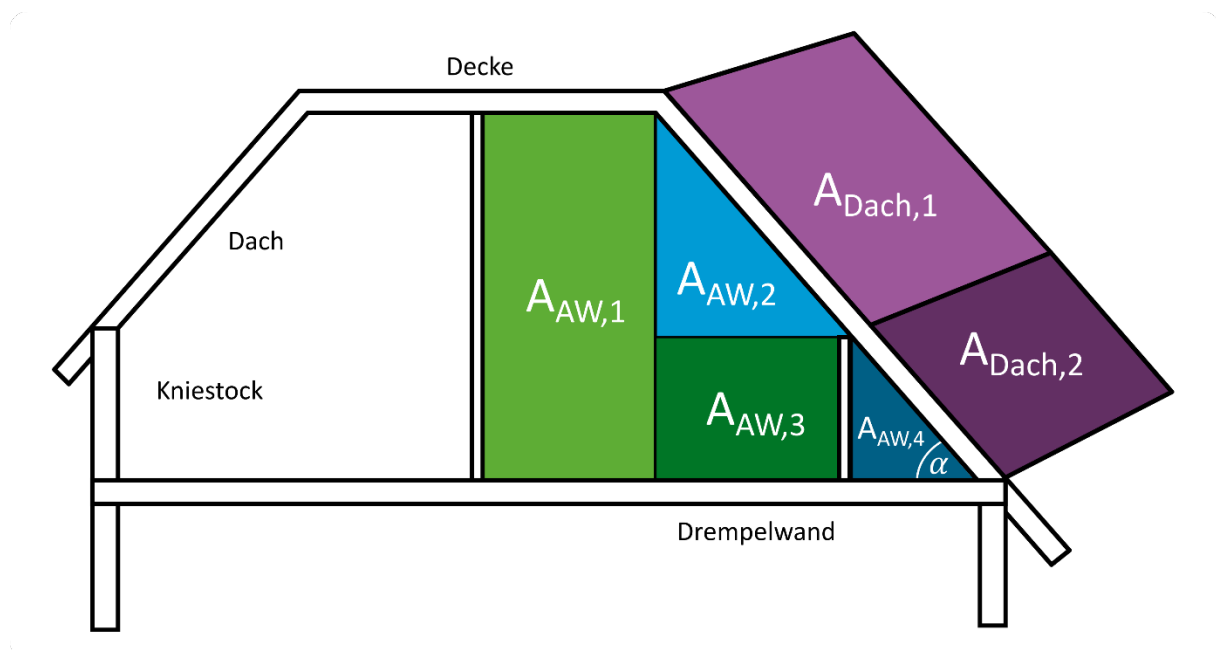
Kniestock: ein aufgemauerter Wandabschnitt zwischen der oberen Geschossdecke und dem Beginn der Dachfläche. Dach- und Fußbodenfläche haben die von Innen ersichtliche Geometrie.

Drempelwand: eine leichte, häufig in Trockenbauweise ausgeführte Zwischenwand vor einem nicht begehbaren Dachraum. Dach- und Fußbodenfläche laufen hinter der Drempelwand fort. Dies hat eine Auswirkung auf die Wärmeverluste der Bauteile, nicht jedoch auf die Lüftungsverluste des Raumes, die von dem sichtbaren Raumvolumen abhängen.

Entsprechend der Abbildung 12 kann eine Dachseite auf vier Bereiche der Giebelwand und zwei Bereiche der Dachfläche aufgeteilt werden:

- | | | |
|----|---------------------|--|
| 4. | $A_{\text{AW},1}$ | Rechteckiger Bereich unter einer horizontalen Decke |
| 5. | $A_{\text{AW},2}$ | Rechtwinkliges Dreieck unter der Dachschräge im sichtbaren Teil Giebelwand |
| 6. | $A_{\text{AW},3}$ | Rechteckiger Bereich entsprechend der Höhe des Kniestocks / Drempelwand |
| 7. | $A_{\text{AW},4}$ | Bei Drempelwand: Rechtwinkliges Dreieck im nicht begehbaren Dachraum |
| 8. | $A_{\text{Dach},1}$ | Von Innen sichtbarer Bereich der Dachfläche |
| 9. | $A_{\text{Dach},2}$ | Bei Drempelwand: Bereich der Dachfläche im nicht begehbaren Dachraum |

Abbildung 12 Kniestock und Drempelwand sowie Flächenfragmente der Giebelwandfläche und Dachfläche in Dachräumen.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Ausgehend von den bekannten Abmaßen werden die genannten Flächen wie folgt ermittelt:

3.4.1 Wandfläche

Die Wandfläche wird bei **einer oder zwei (symmetrischen) Dachflächen** anhand der bis zu vier Einzelflächen der Giebelwand bestimmt, die auf Basis der Gleichungen eines rechtwinkligen Dreiecks berechnet werden. Die Näherung des Neigungswinkels α in 15°-Schritten geht hier als Unsicherheit ein:

Formel 12:
$$A_{AW,1} = h_{\text{Raum}} \cdot b_{\text{Decke}}$$

Formel 13:
$$A_{AW,2} = \frac{1}{4} h_{\text{Dach}}^2 \cdot \sin(2\alpha)$$

Formel 14:
$$A_{AW,3} = h_{\text{Knie}} \cdot h_{\text{Dach}} \cdot \cos(\alpha)$$

Formel 15:
$$A_{AW,4} = \frac{1}{2} h_{\text{Drempel}}^2 \cdot \tan(\alpha)$$

Die gesamte Wandfläche unter der Dachneigung resultiert somit als $A_{AW,2-4}$, wobei die Fläche $A_{AW,4}$ nur im Fall einer Drempelwand vorhanden ist. Abhängig von der Anzahl der Dachflächen und der Anzahl der Giebelwände setzt sich die Giebelwandfläche wie folgt zusammen:

Formel 16:
$$A_{AW,\text{Giebel}} = n_{\text{Giebel}} \cdot (A_{AW,1} + n_{\text{Dach}} \cdot A_{AW,2-4})$$

Dabei wird $A_{AW,\text{Knie}}$ bei Vorliegen eines Kniestocks berechnet durch:

Formel 17:
$$A_{AW,\text{Knie}} = h_{\text{Knie}} \cdot b_{\text{Dach}}$$

Wird eine **komplexe Dachfläche** angegeben, ist eine gröbere Schätzung der Einzelflächen der Außenwand erforderlich. Die Giebelwand wird mittels eines gleichschenkligen Dreiecks berechnet, falls vorhanden unter Berücksichtigung eines Kniestocks:

Formel 18:

$$A_{AW,Giebel} = L_{AW} \cdot \left(h_{Knie} + \frac{1}{2} (h_{Raum} - h_{Knie}) \right)$$

Liegt eine Drempe wand vor, wird anhand der angegebenen Dachneigung und der Raumhöhe die Giebelwandfläche inklusive des nicht begehbaren Hohlraums abgeschätzt durch:

Formel 19:

$$A_{AW,Giebel} = \frac{h_{Raum}^2}{\tan(\alpha)}$$

Da bei der Erfassung einer komplexen Dachfläche keine Dachbreite erhoben wird, wird die Fläche des Kniestocks im Verhältnis zur Dachfläche unter Einbezug der Dachneigung approximiert:

Formel 20:

$$A_{AW,Knie} = A_{Dach} \cdot \frac{h_{Knie} \cdot \sin(\alpha)}{h_{Raum} - h_{Knie}}$$

Die Gesamtfläche der Außenwand in Dachräumen resultiert aus:

Formel 21:

$$A_{AW,tot} = A_{AW,Giebel} + A_{AW,Knie} - A_{Fenster}$$

Zur Abschätzung der Außenmaße aus den erhobenen Innenmaßen, wird die ermittelte Außenwandfläche um 10 % vergrößert, da der in Kapitel 3.3.3 erörterte Ansatz bei der Berechnung nicht rechtwinkliger Flächen nicht praktikabel ist.

Sonderfall: Wird die Anzahl der Giebel n_{Giebel} mit 0 angegeben, wird die Wandfläche entsprechend der eingegebenen Gesamtlänge und Raumhöhe berechnet (analog zu Geschossräumen).

3.4.2 Dachfläche

Die Berechnung der Dachflächen im Fall von **einer oder zwei (symmetrischen) Dachflächen** erfolgt mittels:

Formel 22:

$$A_{Dach,1} = h_{Dach} \cdot b_{Dach}$$

Formel 23:

$$A_{Dach,2} = h_{Drempe} / \sin(\alpha)$$

Wird die Angabe „Zwei Dachflächen (symmetrisch)“ gewählt, wird die Fläche entsprechend verdoppelt. Unter Berücksichtigung der Dachfensterfläche $A_{Dachfenster}$ resultiert die gesamte Dachfläche aus:

Formel 24:

$$A_{Dach,tot} = n_{Dach} \cdot (A_{Dach,1} + A_{Dach,2}) - A_{Dachfenster}$$

wobei die Fläche $A_{Dach,2}$ nur bei einer Drempe wand vorhanden ist.

Im Fall einer **komplexen Dachfläche** gilt $n_{Dach} = 1$ und die Fläche $A_{Dach,1}$ liegt aus der Nutzereingabe der Dachfläche vor. Bei Vorliegen einer Drempe wand wird die Fläche $A_{Dach,2}$ approximiert mittels:

Formel 25:

$$A_{Dach,2} = A_{Dach,1} \cdot \frac{h_{Knie,Drempe}}{h_{Raum} \cdot \sin(\alpha)}$$

3.4.3 Fußbodenfläche

Im Fall einer Drempe wand läuft im dahinterliegenden Hohlraum nicht nur die Außenwandfläche, sondern auch die Fußbodenfläche weiter. Werden **eine oder zwei (symmetrische) Dachflächen** eingegeben, kann die zusätzliche Fußbodenfläche wie folgt berücksichtigt werden:

Formel 26:

$$A_{\text{Boden, tot}} = A_{\text{Boden, Raum}} + n_{\text{Dach}} \cdot b_{\text{Dach}} \cdot \frac{h_{\text{Drempe}}}{\tan(\alpha)}$$

Bei einer **komplexen Dachfläche** wird die zusätzliche Fußbodenfläche proportional zur Kniestockhöhe unter Berücksichtigung der Dachneigung bestimmt:

Formel 27:

$$A_{\text{Boden, tot}} = A_{\text{Boden, Raum}} \cdot \left(1 + \frac{h_{\text{Drempe}} \cdot \cot(\alpha)}{h_{\text{Raum}}} \right)$$

3.4.4 Raumvolumen

Das durchschnittliche Volumen von Räumen mit Dachschrägen ist kleiner als das Volumen eines Geschossraums. Ausnahmen können Räume mit einem offenen, hohen Dachspitz sein. Um den Regelfall abzubilden, wird das Raumvolumen bei vorhandenen Dachflächen pauschal mit einem Faktor von 70 % verringert. Die Tabelle 3 zeigt die Abhängigkeit des Faktors von der Dachneigung und Kniestockhöhe bei einem Raum mit 2,5 m Raumhöhe, 20 m² Grundfläche und einer Breite von 4 m. Es ist ersichtlich, dass der Faktor die Reduktion des Raumvolumens im Mittel gut abbildet, die Abweichungen für typische Kubaturen liegen im Bereich von 15 Prozentpunkten.

Tabelle 3 Einfluss von Dachneigung und Kniestockhöhe auf das Raumvolumen.

Dachneigung	Höhe Kniestock [m]	Volumen Dachraum [m ³]	Faktor
25°	1	29	59%
25°	1,5	39	79%
40°	1	37	74%
40°	0,5	27	54%
55°	0,25	34	67%
55°	0,5	39	77%

3.4.5 Abschätzung von Gauben

Ist mindestens eine Gaube in der Dachfläche vorhanden, werden die hierdurch resultierenden Transmissionswärmeverluste pauschal anhand der Wärmeschutzqualität (U-Wert) des Dachs berechnet (siehe Abbildung 14). Das Verhältnis der Wärmeverluste eines Dachs mit Gaube zu einem Dach ohne Gaube wird aus einer Vielzahl möglicher Kombinationen von Gaubenkubaturen und -ausführungen mit möglichen Raumgeometrien für die wahrscheinlichsten Fälle mit Kurvenfits hergeleitet. Sämtliche wärmeübertragenden Bauteile der Gaube werden berücksichtigt (Brüstung, Wangen, Dach, Fenster). Die ungestörte Dachfläche ohne Gaube wird entsprechend der Gaubenmaße vermindert. Dabei wird unterstellt, dass

Dachfläche und Gaube im selben Jahr errichtet oder saniert wurden und den typischen Ausführungen der jeweiligen Zeit entsprechen.

Die Wärmeverluste der Gaube werden berechnet mit

Formel 28:

$$H_{t,Gaube} = A_{Dach} \cdot U_{Dach} + A_{Brüstung} \cdot U_{Brüstung} + 2 \cdot A_{Wange} \cdot U_{Wange} + A_{Fenster} \cdot U_{Fenster}$$

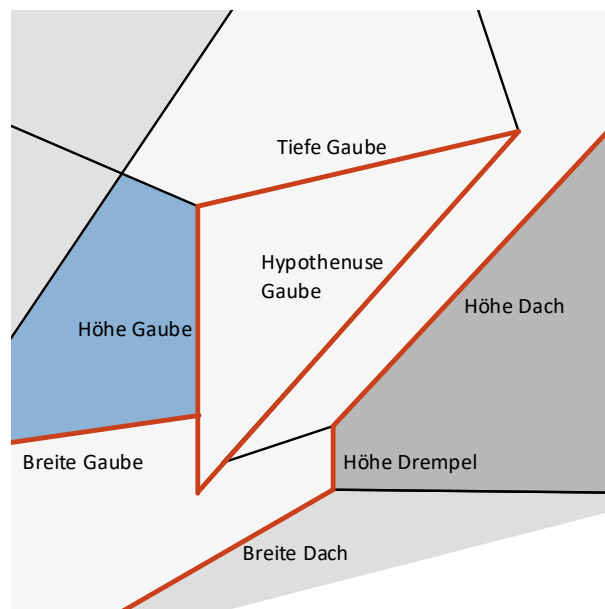
Das zusätzliche Raumvolumen durch die Gaube folgt aus

Formel 29:

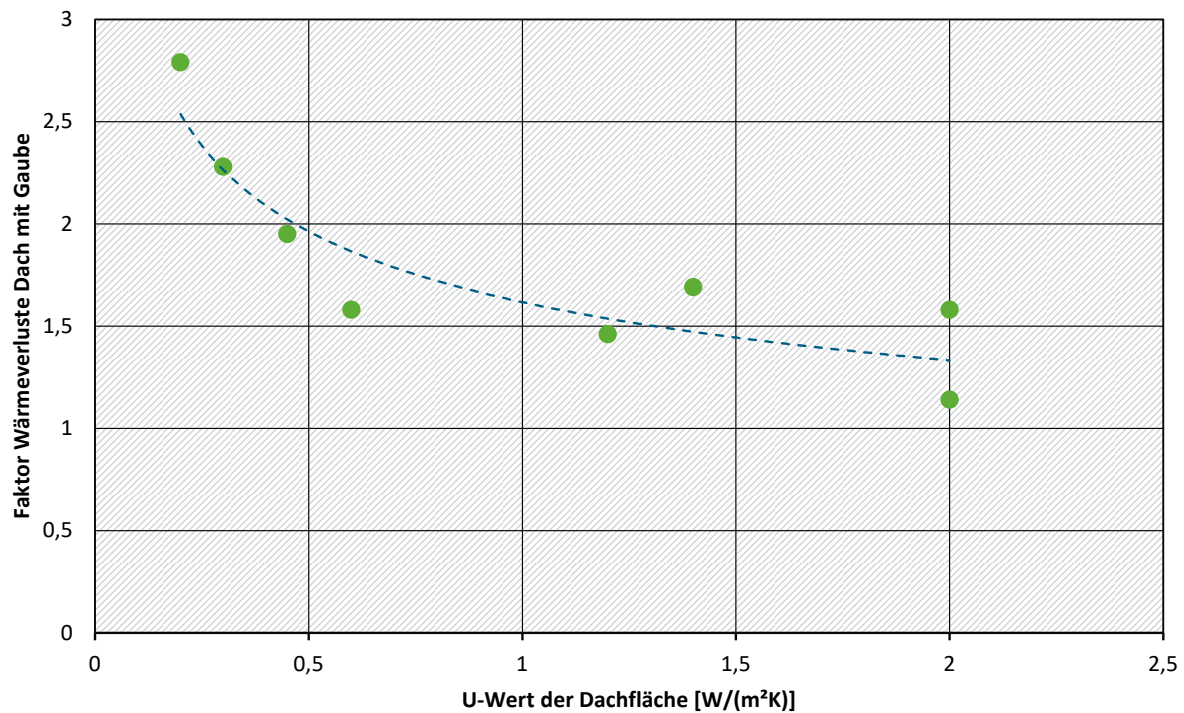
$$V_{Gaube} = A_{Wange} \cdot b_{Gaube}$$

Somit können Gauben mit einer einzigen Abfrage „Ist eine Gaube in der Dachschräge vorhanden?“ erfasst werden. Der pauschale Faktor für die zusätzlichen Wärmeverluste der Gauben ist abhängig von der Wärmeschutzqualität der Dachfläche und deckt typische Fälle mit hinreichender Genauigkeit ab. Die Abbildung 14 zeigt, dass der Wärmeverlust in einem Dach mit Gaube und einem mittleren U-Wert von 2,0 W/(m²K) um den Faktor 1,3 höher liegt als bei demselben Dach ohne Gaube. Hat das Dach hingegen einen sehr hohen Wärmeschutz von beispielsweise 0,3 W/(m²K), sind die Wärmeverluste um Faktor 2,3 höher. Dieser Anstieg liegt insbesondere in der mit der Dämmqualität des Daches zunehmenden Diskrepanz zum U-Wert der Fensterflächen begründet. Systematische Fehler treten auf, wenn Gauben im Verhältnis zur Dachfläche sehr klein sind oder der Wärmeschutz der Gauben stark vom Wärmeschutz des Dachs abweicht. Beide Fälle werden als sehr unüblich eingeschätzt.

Abbildung 13 Eingangsgrößen für die Berücksichtigung der Wärmeverluste von Gauben



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 14 Pauschaler Faktor zur Berücksichtigung der Wärmeverluste von Gauben

Quelle: ifeu (eigene Darstellung)

3.5 Ausgabelogik, Grenzwerte und Ergebnistexte

Die Ergebnistexte im Beratungstool werden fallabhängig auf Basis von unterschiedlichen Berechnungsgrößen generiert. Die ausgegebenen Bewertungstexte enthalten in allen Themenbereichen einheitlich vier Abstufungen.

Ausgabe Raumbewertung

Die Bewertung des Raumes erfolgt in drei Themenblöcken, für die unterschiedliche Empfehlungstexte erzeugt werden:

- ▶ Bewertung der Wärmepumpeneignung: Text mit einer linearen, vierstufigen Skala
- ▶ Bewertung des Potenzials eines Heizkörperaustauschs: Text mit dynamischem Icon
- ▶ Bewertung der Gebäudehülle: Text mit einer linearen, vierstufigen Skala sowie dynamischen Icons für die einzelnen Bauteile

Die jeweils zugehörigen Textblöcke werden im Anhang A.1.1 in ihren vier Abstufungen gemeinsam mit den zugehörigen Grenzwerten aufgeführt. Die grafischen Darstellungen sind auszugsweise im Kapitel 4.3 sichtbar.

Ferner werden Variablen für die grafische Bewertung erzeugt. Für die visuelle Bewertung anhand von Skalen-Darstellungen (siehe Kapitel 4.3) wird die Position des Markers bestimmt. Zudem wird definiert, welche Icons zur Bewertung ausgegeben werden (bspw. Heizkörperaustausch bei gleicher Größe vs. Heizkörperaustausch mit erforderlicher Vergrößerung) und in welcher Farbe diese ausgegeben werden. Gleiches gilt für die Einfärbung von bauteilspezifischen Icons (siehe Kapitel 4.3) zur Bewertung der Gebäudehülle. Die Bauteile werden entsprechend nachfolgender Tabelle 4 angelehnt an die Grenzwerte des individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP) bewertet.

Tabelle 4 Bewertungsgrenzwerte für die vier Bewertungskategorien (Rot, Orange, Gelb, Grün) für die opaken Bauteile, angelehnt an die Bewertungskategorien des iSPF.

Bewertung	Außenwand	Dach	Fußboden	Decke	Fenster
Rot	> 0,8	> 0,8	> 0,8	> 0,8	> 2,7
Orange	> 0,5	> 0,5	> 0,5	> 0,5	> 2,1
Gelb	> 0,35	> 0,3	> 0,4	> 0,3	> 1,5
Grün	≤ 0,35	≤ 0,3	≤ 0,4	≤ 0,3	≤ 1,5

Ausgabe Gebäudebewertung

Für die Bewertung auf Gebäudeebene werden die beschriebenen Themen nochmals aufgegriffen und anhand der Werte der Einzelräume aggregiert. Es bestehen folgende Themenblöcke:

- ▶ Bewertung Wärmepumpeneignung „Bereit für eine effiziente Wärmepumpe?“: Text mit linearer vierstufiger Skala
- ▶ Raumübersicht mit Zusammenfassung der Ergebnisse für Heizlast, schlechtestes Bauteil, Heizlast, Deckungsgrad und das Potenzial eines Heizkörperaustauschs je Raum: Text mit dynamischen Icons zu Heizlast und Heizkörper
- ▶ Zusammenfassung des Potenzials eines Heizkörperaustauschs auf Gebäudeebene: Text mit dynamischem Icon
- ▶ Bewertung der Effizienz der Gebäudehülle differenziert je Bauteil Außenwand, Fenster, Dach und horizontaler Gebäudeabschluss: Textblöcke

Die Aggregation hinsichtlich Niedertemperaturfähigkeit und Heizkörperaustausch erfolgt einerseits auf Basis von prozentualen Anteilen der Räume, die gewisse Grenzwerte des Deckungsgrads über- oder unterschreiten sowie andererseits zum Teil auf Basis der absoluten Raumanzahl. So ist ein Gebäude beispielsweise noch nicht niedertemperaturfähig, wenn mindestens ein Raum dieses Kriterium nicht erfüllt, da dies die Grundlage der Suche nach und gezielten Anpassung von Schlechtpunkträumen ist. Neben den Kategorien Wärmepumpeneignung und Heizkörperaustausch wird eine Raumübersicht der Einzelraum-Ergebnisse dargestellt, in der die Erkenntnisse je Einzelraum knapp zusammengefasst und visualisiert werden. Die zugrunde liegenden Textelemente der genannten Kategorien werden in ihren vier Abstufungen gemeinsam mit den zugehörigen Grenzwerten im Anhang A.1.2 dargestellt.

Die Bewertung der Gebäudehülle hat auf der Gebäudeebene einen höheren Detailgrad und enthält explizite Empfehlungstexte zu den einzelnen Bauteilen, da die Beurteilung und Entscheidung über energetische Modernisierungsmaßnahmen im Normalfall nicht für einzelne Räume getroffen wird, sondern das gebäudeweite Einsparungspotenzial von Bedeutung ist.

Die opaken Bauteile werden dabei vereinfacht anhand des Mittelwerts der Einzelräume anhand der in Tabelle 4 aufgeführten Grenzwerte bewertet. Darüber hinaus wird jedoch der Anteil der jeweiligen Bauteilverluste an den summierten Transmissionswärmeverlusten aller Räume bestimmt. Dies ermöglicht es, die Relevanz der Bauteile einzuordnen und hieraus das praktische Potenzial eines Austauschs abzuleiten. Der Anteil der Bauteile an den Wärmeverlusten wird im Tool einerseits als Kennwert ausgegeben und in die Empfehlungstexte einbezogen. Andererseits werden Empfehlungen zur Modernisierung oder Austausch pauschal deaktiviert, wenn der Anteil an den Wärmeverlusten bei unter 15 % liegt. Die Fenster stellen dahingehend einen

Sonderfall dar, dass die Qualität unterschiedlicher Fensterarten anteilig berücksichtigt wird, um der für dieses Bauteil am ehesten vorherrschenden Varianz im Gebäude Rechnung zu tragen. Für die expliziten Grenzwerte sei ebenfalls auf Anhang A.1.2 verwiesen.

Layout im Frontend

In die Texte und grafischen Ausgaben integrierte Zahlenwerte werden für die Ausgabe mit Einheiten versehen und in einem sinnvollen Maß hinsichtlich der Genauigkeiten der Berechnung in größeren Schritten gerundet:

- ▶ Absolute Heizlast und Heizleistung: in 100 Watt Schritten
- ▶ Spezifische Heizlast: in 5 W/m² Schritten
- ▶ Deckungsgrad und andere Anteile: in 10 % Schritten

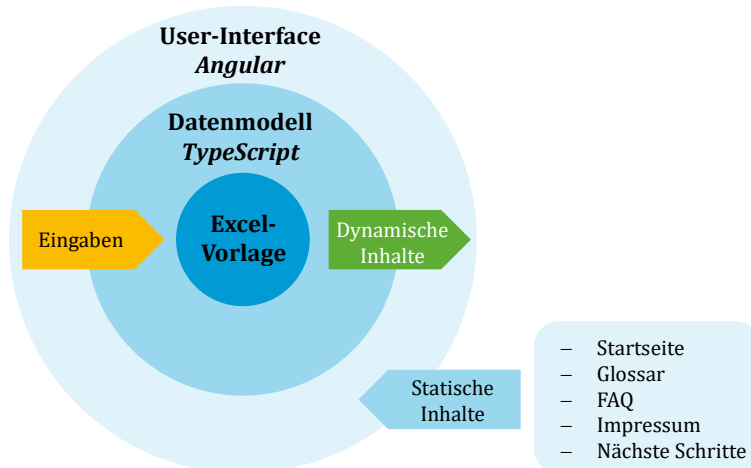
Für die systematische Übergabe formatierter Bewertungstexte zur Darstellung im Frontend wurde das Markdown-Format eingesetzt. Markdown ermöglicht eine semantisch klare und zugleich technisch schlanke Strukturierung von Texten, beispielsweise durch die Definition von Überschriften (## als Einleitung einer Überschrift 2. Ordnung), Hervorhebungen, Listen oder Absätzen. Im Vergleich zu proprietären Formatierungen (z. B. aus Word oder HTML) bietet Markdown den Vorteil, als reiner Plain-Text vorzuliegen und damit problemlos in Excel verarbeitet werden zu können. Insbesondere können mehrere Textbausteine zeilenweise aus verschiedenen Zellen zusammengeführt werden, ohne dass Formatierungsverluste oder Kompatibilitätsprobleme beim Kompilieren des TypeScript-Codes auftreten (Matt Cone 2025).

Zur besseren visuellen Differenzierung einzelner Bewertungsstufen (z. B. Wärmeschutzniveau des Raumes) wurde Markdown durch gezielt eingesetzte HTML-Elemente ergänzt. Insbesondere werden farbcodierte Icons mittels Bootstrap Icons genutzt, die über HTML-Tags wie `<i class="bi bi-circle-fill rating-red"></i>` eingebunden und mit CSS-Klassen zur farblichen Kennzeichnung versehen wurden (Otto und Thornton 2025). Diese Icons wurden in Markdown-Überschriften integriert, um eine einheitliche Struktur und klare visuelle Orientierung zu erreichen. Die Kombination von Markdown zur strukturellen Auszeichnung und HTML zur visuellen Gestaltung erlaubt eine flexible, plattformunabhängige Weiterverarbeitung, etwa zur Einbettung der Webanwendung oder für den PDF-Export.

4 Umsetzung der Webanwendung

Der Gebäudecheck Wärmepumpe wurde durch ein *TypeScript*-basiertes Datenmodell und ein in *Angular* umgesetztes User-Interface als Webanwendung konzipiert. Das Datenmodell beruht auf einer Excel-Vorlage, in der die im Kapitel 3 beschriebene Methodik und Datenbanken abgebildet sind (siehe Abbildung 15). Dies liegt darin begründet, dass das Tool ursprünglich als reine Excel-Anwendung geplant war. Nach Implementierung der Methodik als *TypeScript*-basiertes Datenmodell ist eine einfache Aktualisierung der dynamischen Inhalte der Anwendung mittels Excel möglich. Für das Gesamtkonzept der Webanwendung wurden darüber hinaus statische Inhalte wie die Startseite oder ein Glossar erarbeitet. Diese sind in der Webanwendung selbst sowie im Repository (vgl. Kapitel 4.3) zu finden.

Abbildung 15 Schema der Schnittstellen von Excel-Vorlage, Datenmodell (Typescript) und User-Interface (Angular).



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Umsetzung als Webanwendung bringt wie eingangs beschrieben elementare Vorteile beim Erreichen der Zielgruppe und Kommunikation von Hintergrundinformationen mit sich. Daneben vereinfacht sie das Handling für die Nutzer*innen durch folgende Eigenschaften: Das browserbasierte Tool speichert Eingabewerte im *LocalStorage*⁵ des Browsers, sodass auch bei neuerlichem Öffnen des Tools die bisherigen Eingaben nicht verloren sind. Die Anwendung funktioniert vollständig offline, da Berechnungen und Datenablage lokal im Browser erfolgen. Darüber hinaus geben Up- und Download-Buttons in der Navigationsleiste die Möglichkeit, Zwischenstände im Format JSON (JavaScript Object Notation) zu speichern oder hochzuladen. Dies ermöglicht den Austausch von bereits eingegebenen Gebäudedaten. Sollen die erzeugten Ergebnisse gespeichert werden, bietet das Tool weiterhin die Möglichkeit, diese als PDF zu drucken (vgl. bspw. Abbildung 20, oben). Hierfür genügt das Drucken mittels der browser-eigenen Funktion Datei/Drucken beziehungsweise der Befehl *Strg+P* der Ergebnisübersicht des Gebäudes (vgl. Abbildung 26). Die Druckansicht wurde hierfür im Frontend *Angular* angepasst, sodass sowohl die Gebäude- als auch Raumergebnisse ausgegeben werden.

Nachfolgend wird zunächst die für die Schnittstelle zu *TypeScript* konzipierte Excel-Vorlage beschrieben (vgl. Kapitel 4.1). Anschließend wird das Konzept der User-Führung (Kapitel 4.2), das User-Interface sowie das Datenmodell (Kapitel 4.3) erläutert.

⁵ Der *localStorage* des Browsers ist ein webbasierter Speicher, der es ermöglicht, Daten dauerhaft und gerätebezogen im Browser des Nutzers abzulegen und zwischen Sitzungen zu behalten, ohne dass sie an den Server gesendet werden.

4.1 Excel-Vorlage

Die Abbildung 5 im Kapitel 3.1 enthält die grundlegende Struktur der Excel-Vorlage anhand der verwendeten Excel-Sheets. Diese Struktur liegt in gleicher Weise im programmierten Backend vor (siehe Kapitel 3.1).

Die Sheets zur Erfassung der Eingangsgrößen von Gebäude und Raum, *IN_build* und *IN_rooms*, enthalten neben den Eingabewerten die Fragentexte und falls erforderlich zugehörige Hilfstexte (Frontend) sowie Metadaten zur Programmierung. So wird eine einfache Aktualisierung der Webanwendung ermöglicht. Die Metadaten umfassen:

- ▶ Antworttyp,
- ▶ Filterung (Wert erscheint nur, wenn...),
- ▶ Einheit,
- ▶ Datentyp,
- ▶ Pflichtfeld Ja/Nein,
- ▶ Nachkommastellen,
- ▶ Minimalwert,
- ▶ Maximalwert und
- ▶ vorausgefüllter Wert.

Dabei ist das Sheet zur Erfassung der Raumdaten *IN_rooms* zweidimensional angelegt, sodass je erforderlicher Variable eine Zeile vorhanden ist, in der spaltenweise die Eigenschaften je Raum eingetragen werden. Dies ermöglicht eine einfache Erweiterung des Tools auf beliebig viele Räume. Im TypeScript-Datenmodell wird dies anhand einer for-Schleife umgesetzt.

Im Excel-Sheet *cl_c_load* findet die Berechnung der Heizkörperleistung bei 55 °C Vorlauftemperatur statt. Diese erfolgt durch Auslesen von Norm-Heizkörperleistung und Heizkörperexponent mittels des Excel-Befehls XVERWEIS oder INDIREKT aus einer Lookup-Tabelle der Heizkörperdaten (*Data_radiator*) und anschließender Bestimmung der Heizleistung bei 55 °C Vorlauftemperatur mittels logarithmischer Übertemperatur (vgl. Kapitel 2.3).

Die Eingangsgrößen zur Bestimmung der Norm-Heizkörperleistung unterscheiden sich dabei für die verschiedenen Heizkörpertypen. Um die Anzahl an Fall-Unterscheidungen innerhalb der Berechnung zu vereinfachen, werden für jeden der vier erfassbaren Heizkörpertypen die Berechnungsmethoden parallel abgebildet. Anschließend wird das Ergebnis anhand des ausgewählten Heizkörpertyps ausgewählt. Es sind folgende Berechnungsmethoden vorgesehen:

- ▶ Flachheizkörper (Typ 10 bis Typ 33),
- ▶ Gliederheizkörper (Gussradiator und Stahlradiator),
- ▶ Rohrheizkörper (Stahlrohr-, Handtuch- und Fensterbankradiator) sowie
- ▶ Standardkonvektor.

Weiterhin findet je Heizkörpertyp eine Approximation der Außenmaße (bspw. auf Basis der Gliederanzahl) statt, um hierüber die Referenz-Leistung des vergleichenden senkrecht profilierten Flachheizkörpers vom Typ 33 zu bestimmen.

Es können maximal drei unterschiedliche Heizkörper berechnet werden. Durch Multiplikation mit der Anzahl identischer Heizkörper im Raum ist jedoch potenziell die Erfassung einer größeren Anzahl von Heizkörpern möglich. Dies kann die Erfassung großer Räume erleichtern.

4.2 Eingabepfade und Ausgaben

Aufbauend auf den Beschreibungen in Kapitel 3.1 werden in den nachfolgenden Abbildungen vergleichbare Flussdiagramme erörtert. Anders als in der Beschreibung der Methodik dienen sie an dieser Stelle zur Erläuterung der Eingabepfade und Ausgaben der Webanwendung. Diese sind Grundlage des umgesetzten User-Interface und der Reihenfolge und Varianten der Datenerfassung sowie möglicher Teilergebnisse. Als gemeinsame Schnittstelle enthalten beide Flussdiagramme die Eingabegrößen.

Die Abfragen sind im Allgemeinen Float-Eingaben oder Toggle-Switches (Boolean). Werden unter der Abfrage Antwortmöglichkeiten dargestellt, sind diese Fragen Single-Choice-Eingaben. Diese sind abhängig von der Anzahl der Optionen entweder als Radio-Buttons oder als Dropdown-Menüs ausgeführt (für die im Tool umgesetzten Elemente siehe beispielsweise Abbildung 22). Pflicht-Eingaben sind in dunkelgelb dargestellt, optionale Abfragen in hellgelb.

Die in Abbildung 16 gezeigte Erfassung der Gebäudedaten verläuft weitestgehend linear. Aus der Eingabe des Systems der Wärmeübergabe sowie der Art der Wärmeverteilung können abhängig von der Eingabe unterschiedliche Pfade und Teilergebnisse resultieren. Ebenso führen Vorfilterungen bei Baujahr und Effizienzklasse zu einem zusätzlichen Teilergebnis.

Liegt das **Baujahr nach 2002** oder ist die **Effizienzklasse besser als C**, wird als Teilergebnis eine potenziell pauschale Eignung des Gebäudes ausgegeben.

Anschließend werden Wärmeübergabe und Wärmeverteilung abgefragt, nicht jedoch die realen Vorlauftemperaturen. Eine weitere Nutzung der Anwendung mit Start der Raumerfassung ist möglich, sofern die Wärmeübergabe dies zulässt.

Die Berechnung der Heizkörperleistung ist für wasserführende Systeme vorgesehen und nur für Heizkörper, nicht jedoch für Flächenheizungen implementiert. Aus diesem Grund werden folgende Einschränkungen kommuniziert, wenn kein reines Heizkörper-System ausgewählt wird:

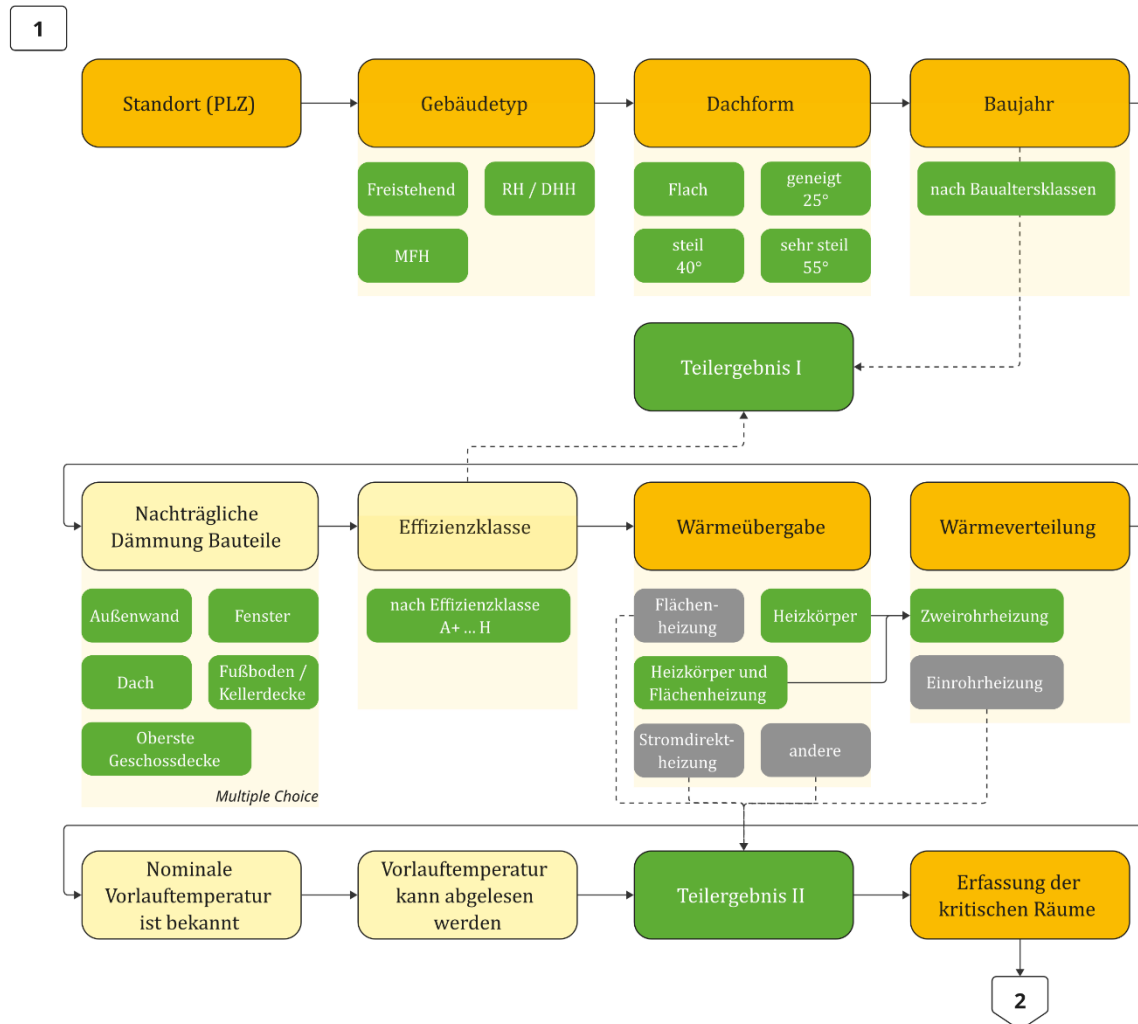
- ▶ Flächenheizung: Gebäude bereits gut geeignet, Einzelraumbetrachtung nicht möglich.
- ▶ Flächenheizung und Heizkörper: Einzelraumbetrachtung auf Räume mit Heizkörpern beschränkt.
- ▶ Stromdirektheizung und Andere: Eingeschränkte Einzelraumbetrachtung. Ergebnisse sind eher Hinweise zur Abschätzung von Heizkörper-Abmaßen bzw. veranschaulichen eine mögliche Umrüstungsvariante.

Wird bei der Wärmeverteilung eine Einrohrheizung ausgewählt, ergeben sich ebenfalls Einschränkungen bei der Berechnung, da die in Kapitel 2.3 beschriebene Methode auf Zweirohrheizungen beschränkt ist. Die Ergebnisse geben somit Orientierung für eine potenzielle Umrüstung auf eine Zweirohrheizung, bedeuten jedoch nicht, dass die aktuelle Einrohrheizung nicht geeignet ist.

Abschließend können beliebig viele Räume angelegt werden, die im Folgenden analysiert werden sollen. Zur besseren Übersicht können den Räumen individuelle Bezeichnungen gegeben werden. Den Nutzer*innen werden folgende Leitfragen zur Identifikation von Schlechtpunkträumen gegeben (vgl. Kapitel 5):

- Bleibt der Raum im Winter oft zu kalt?
- Hat der Raum viel Kontakt zur Außenluft (über Außenwand, Dach, Fenster)?
- Liegt der Raum über oder unter unbeheizten Räumen oder direkt an der Außenluft?
- Hat der Raum viel Fensterfläche?

Abbildung 16 Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Gebäude



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

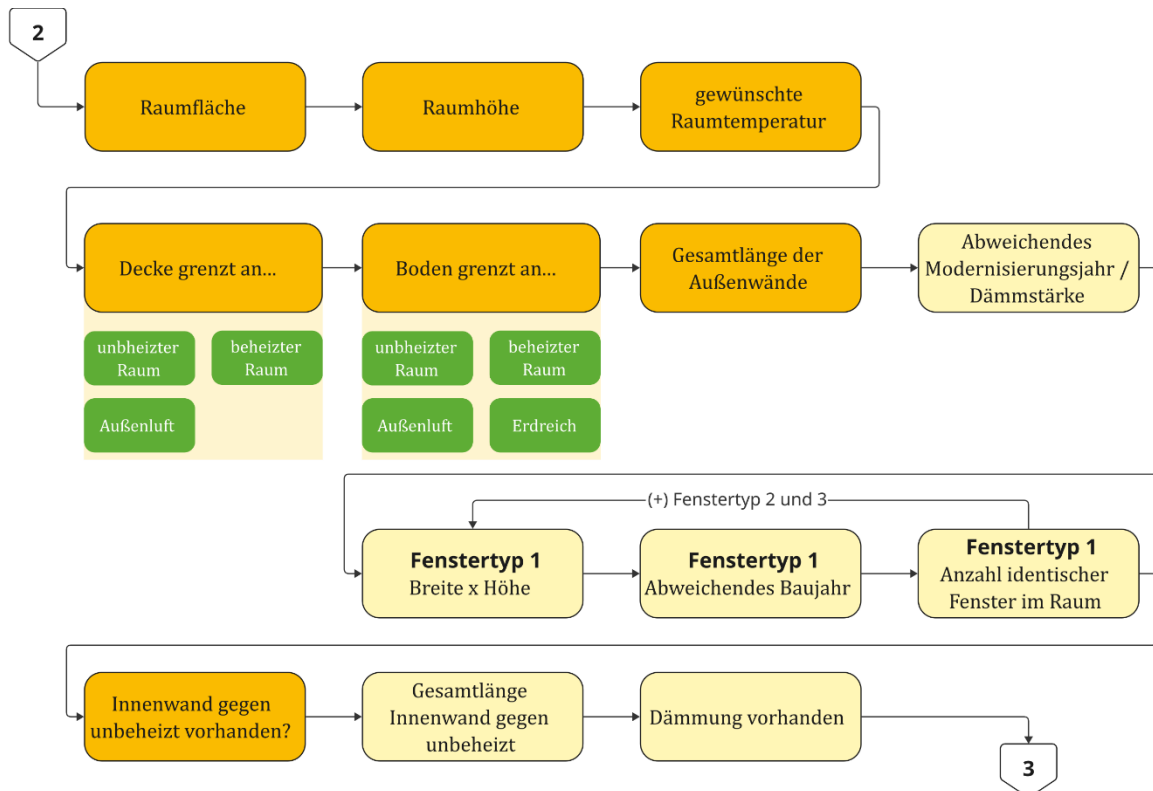
Die Abbildung 17 zeigt den Eingabepfad bei der Raumerfassung sowie die Bauteileingaben für Geschossräume. Es können maximal drei verschiedene Fenstertypen mit unterschiedlichen Abmaßen und Baujahren angelegt werden. Diese werden mit der jeweiligen Anzahl multipliziert, sodass insgesamt mehr Fenster eingegeben werden können. Dies kann die Eingabe großer Räume vereinfachen.

Die Erfassung von Dachräumen ist in Abbildung 18 sichtbar. Hier erfolgt eingangs mittels Radio Buttons eine grundlegende Unterscheidung zwischen der Art der Dachfläche. Bei Auswahl von „Eine Dachfläche“ oder „Zwei Dachflächen (symmetrisch)“ wird die Länge und Höhe einer Dachfläche sowie die Breite der horizontalen Decke abgefragt und daraus die Gesamtfläche von Dach und Decke ermittelt. Bei Auswahl von „Komplexe Dachfläche“ können die Gesamtfläche von Dach und Decke individuell eingegeben werden. Dies ermöglicht die genauere Erfassung von Dachräumen jenseits des Satteldachs, setzt jedoch das selbständige Vermessen und Berechnen

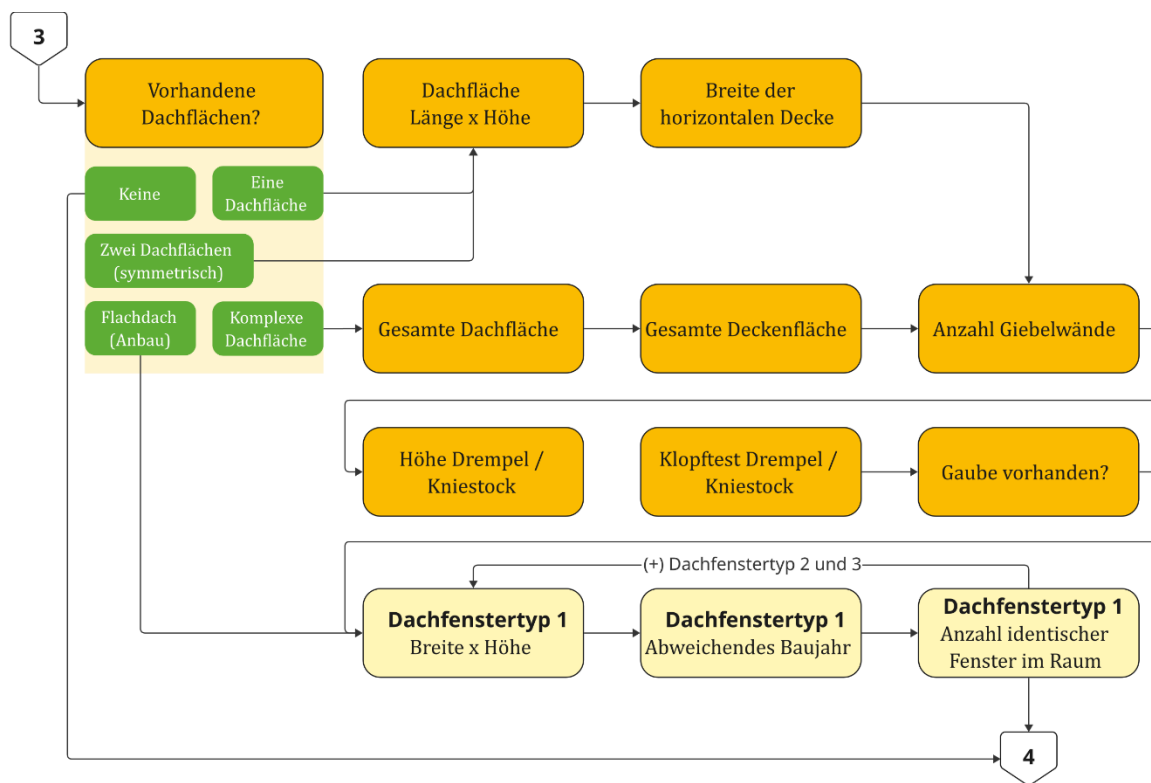
der im Raum vorhandenen Teilflächen voraus. Die unterschiedlichen Berechnungsweisen werden im Kapitel 3.4 beschrieben. Hierfür werden weiterhin die Anzahl der Giebelwände, das Vorhandensein einer Gaube und die Dachfenster (analog der Fenstereingabe, maximal drei verschiedene Fenstertypen) erfasst.

Bei der Erhebung eines Kniestocks oder einer Drenpelwand, die ebenfalls in die Berechnung von Dachräumen eingehen, wird den Nutzer*innen einerseits ein Hilfstext zur Unterscheidung angezeigt. Andererseits wird durch die Abfrage eines „Klopftests“ eine Möglichkeit gegeben, den Unterschied festzustellen.

Abbildung 17 Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Raum Teil I



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

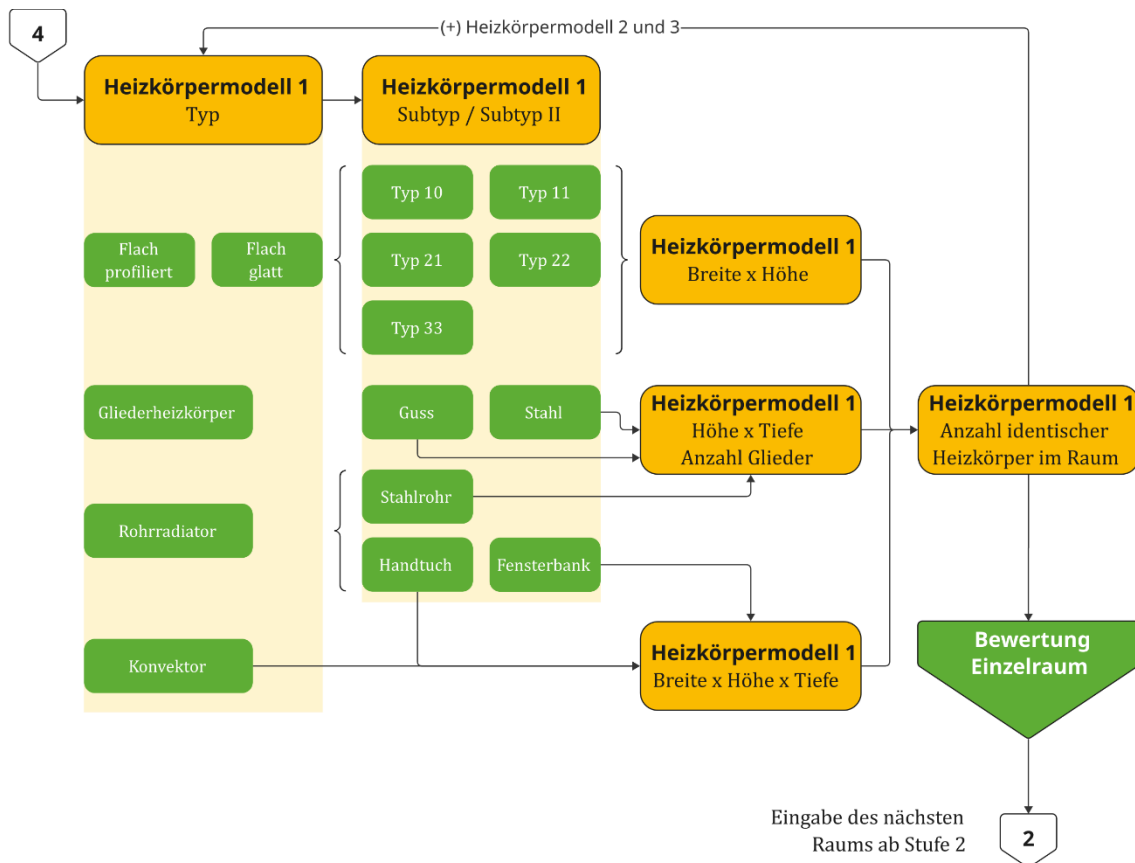
Abbildung 18 Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Raum Teil II

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Im letzten Schritt der Datenerfassung werden die Heizkörper eingegeben, siehe Abbildung 19. Dies ist in der Webanwendung mit grafischen Elementen umgesetzt, da die visuelle Erkennung von Heizkörpertypen und -subtypen für nichtfachliche Personen wesentlich einfacher ist (siehe auch Abbildung 22). Abhängig von der Auswahl des Heizkörper-Subtyps werden im User-Interface die nachfolgenden Abfragen der Heizkörpermaße gefiltert.

Wie in Abbildung 19 zu sehen, werden für senkrecht profilierte und glattwandige Flachheizkörper die Maße Breite und Höhe abgefragt. Die Tiefe resultiert aus dem angegebenen Subtyp II. Für Gliederheizkörper aus Guss und Stahl sowie für Stahlrohr-Rohrradiatoren werden die Höhe, die Tiefe sowie die Anzahl der Glieder abgefragt. Liegt ein Fensterbankradiator (Typ Rohrradiator) oder ein Standardkonvektor vor, erfolgt die Ermittlung der Norm-Heizleistung und des Heizkörperexponenten anhand der Angaben zu Breite, Höhe und Tiefe. Wird ein Handtuchradiator (Typ Rohrradiator) ausgewählt, werden Breite und Höhe des Radiators abgefragt.

Nach abgeschlossener Eingabe eines Einzelraums werden dessen Ergebnisse zu Deckungsgrad bei aktuellem Heizkörper und nach Heizkörpertausch sowie zur Bewertung der Hüllqualität als Zwischenergebnis ausgegeben. Anschließend wird der nächste Raum eingegeben.

Abbildung 19 Flussdiagramm UI: Datenerfassung - Raum Teil III

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

4.3 User-Interface und Datenmodell

Zur Umsetzung der Excel-Vorlage als Datenmodell liegt die Sheet-Struktur der Excel-Vorlage in gleicher Weise in *TypeScript* vor. Je Blatt sind in diesem Datenmodell die einzelnen Variablen und die in den Zellen enthaltenen Formeln inklusive Zellbezug vorhanden. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine einfache und punktuelle Aktualisierung des TypeScript-basierten Datenmodells bei Änderungen und Korrekturen in Excel. Excel-Formeln sind funktionsgleich nach TypeScript transformiert. Abweichend von den in Excel möglichen Methoden, sind in TypeScript sich wiederholende Rechenabläufe in for-Schleifen abgebildet. Um eine uneingeschränkte Nutzung und Weiterentwicklung zu ermöglichen, ist die Webanwendung Open-Source-Lizenziert unter [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) und in nachfolgendem Repository dokumentiert: <https://github.com/ifeu-ggmbh/gebaeudecheck-waermepumpe>

TypeScript

TypeScript ist eine von Microsoft entwickelte Programmiersprache, die als Superset von JavaScript konzipiert ist. Sie erweitert JavaScript um statische Typisierung, Klassen, Interfaces und Module, wodurch eine frühzeitige Fehlererkennung sowie eine verbesserte Wart- und Testbarkeit komplexer Anwendungen ermöglicht wird. Der in TypeScript geschriebene Quellcode wird in reguläres ECMAScript-kompatibles JavaScript transkompiliert. TypeScript ist in zahlreichen industriellen Webprojekten sowie Open-Source-Frameworks wie Angular fest integriert und hat sich als Standard für großskalige JavaScript-Anwendungen etabliert (Bierman et al. 2014). TypeScript-Anwendungen können vollständig browserbasiert konzipiert werden, da TypeScript nach der Entwicklung zu JavaScript transpiliert wird, was die native Sprache aller modernen

Browser ist. Dabei wird der TypeScript-Code von Build-Tools wie der Angular CLI oder dem TypeScript-Compiler in ausführbares JavaScript umgewandelt. Das ermöglicht die Ausführung direkt im Browser, ohne erforderliche Interaktion mit dem Server oder die Installation zusätzlicher Software. In der Praxis bedeutet das: Logik, Datenverarbeitung und User-Interface-Interaktion können vollständig im Browser der Nutzer*innen ablaufen (Mauroy 2025).

Für die Umsetzung des User-Interface besteht eine Verlinkung der Daten aus den Eingabe-Sheets *IN_build* und *IN_rooms* (gelber Bereich in Abbildung 5) sowie den Ergebnis-Sheets *OUT_rooms* und *OUT_build* (grüner Bereich in Abbildung 5) mit der *Angular* Frontend-Oberfläche. Die übertragenen Daten umfassen Zahlenwerte, in Excel zusammengesetzte Textblöcke, variable Abbildungs-Namen, Variablen zur Vorgabe von Farben sowie zum Teil Bootstrap-Icons. Die Formatierung der Texte wird mittels Markdown-Befehlen in den Texten in Excel vorgenommen (Matt Cone 2025). Für die generierten Ausgaben siehe Kapitel 3.5.

Angular

Angular ist ein komponentenbasiertes Open-Source-Webframework, das von Google entwickelt wurde und ist in allen gängigen Webbrowsern lauffähig. Es basiert auf TypeScript und ermöglicht die strukturierte Entwicklung dynamischer Single-Page-Webanwendungen. Angular vereint deklarative Templates, Dependency Injection, bidirektionale Datenbindung und einen hierarchischen Komponentenbaum zu einem einheitlichen Anwendungsmodell. Das Framework stärkt Modularität, Wiederverwendbarkeit und testgetriebene Entwicklung. Durch die Integration moderner Architekturprinzipien eignet sich Angular für Anwendungen mit komplexem Datenfluss oder umfangreicher Nutzerinteraktion (Seshadri 2018).

Bei der Umsetzung in Angular wurde eine weitestgehend barrierefreie Umsetzung des Tools angestrebt. Diese umfasst eine grundlegende Screenreader-Fähigkeit, Tastaturbedienbarkeit inklusive sichtbaren Fokusrändern ausreichende Kontraste, die Struktur der Einzelseiten mit Überschriftenebenen, die Benennung von Buttons und Links, Alternativtexte für nicht-dekorative Grafiken, sowie eine grundlegende Gruppierung von Formularelementen.

Die Abbildung 20 zeigt ein Beispiel der Eingabe von Gebäudedaten anhand der Angabe von nachträglichen Modernisierungen der Bauteile. Die blaue Navigationsleiste der Webanwendung enthält Links zu statischen Seiten wie dem Glossar oder FAQ. Die darunterliegende Navigationsleiste dient der aktiven Navigation während der Nutzung der Webanwendung und dient zugleich als Statusanzeige. Es wird zunächst grundlegend zwischen den Eingabephasen Gebäudeebene, Raumerfassung, Raumebene und Ergebnisse unterschieden. Darüber hinaus werden die bei der Raumerfassung angelegten Räume in der Navigationsleiste dargestellt. In der Abbildung 24 ist ferner eine Leiste zur Sub-Navigation innerhalb der Raumeingabe sichtbar. Diese unterteilt die Eingabe in vier Schritte entsprechend der Anzahl der Unterseiten zur Dateneingabe. Die zweistufige Navigations-Leiste ermöglicht es, schnell zwischen Gebäudeerfassung, den Einzelräumen und dem Gesamtergebnis hin- und her zu wechseln. Innerhalb der Räume kann schnell zwischen Gebäudedaten, Wärmeverlusten, Heizflächen und dem Raumergebnis gewechselt werden.

Die Abbildung 21 zeigt ergänzend die Ausgabe eines Teilergebnisses sowie zugehörige Anweisungen für die weitere Nutzung am Beispiel der Nachtspeicherheizung. In der Abbildung 22 wird die Erfassung der Dachflächen in Dachräumen und in der Abbildung 23 die grafische Erfassung der unterschiedlichen Heizkörpertypen dargestellt.

Abbildung 20 Screenshot Webanwendung: Gebäudeerfassung (Modernisierungsmaßnahmen).

Geäudecheck Wärmepumpe ⬇ ⬆ ⓧ Startseite Gebäudecheck Kontakt Impressum Datenschutz Glossar FAQ

🏠 Gebäude 🗂 Räume 1 Bad 2. OG 2 Küche/Wohnbereich EG 3 Büro 4 Kinderzimmer EG

✓ Ergebnis

Wurde eines der folgenden Bauteile nachträglich gedämmt oder ausgetauscht?

☐ Außenwand

☒ Fenster

Modernisierungsjahr bekannt? 2009 – 2022 ▼

☒ Dach

Modernisierungsjahr bekannt? 1979 – 1983 ▼

Dämmstärke bekannt? 8 cm

☐ Oberste Geschossdecke
Im Haus am höchsten gelegene Decke eines beheizten Raumes.

☐ Kellerdecke / Fußboden

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 21 Screenshot Webanwendung: Beispiel Textausgabe Anwendungsanweisung.

Nicht wasserführendes Heizsystem – Eingabehinweise

Super, Sie haben alle Gebäudedaten erfasst!

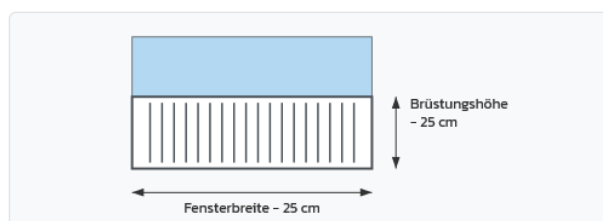
Ihr bisheriges Heizsystem enthält kein wasserführendes Wärmeverteilsystem (z. B. klassische Heizkörper oder Fußbodenheizung). Solche Systeme sind jedoch notwendig, wenn Sie eine Luft/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpe einsetzen möchten.

📌 Was Sie jetzt tun können:

Sie können das Tool trotzdem weiter nutzen – indem Sie eine mögliche Umrüstung auf wasserführende Heizkörper simulieren.

👉 So funktioniert's:

- Wählen Sie bei der Heizkörper-Eingabe einen **Flachheizkörper, senkrecht profiliert, Typ 33** aus.
- Geben Sie bei den Abmessungen den verfügbaren Platz in der Heizkörpernische an (z.B. unter dem Fenster).
- Ziehen Sie dabei jeweils ca. **25 cm von der Fensterbreite und der Brüstungshöhe** ab, um realistische Einbaugrößen zu schätzen.



⚠ Wichtig: Die Ergebnisse stellen dann keinen Ist-Zustand dar, sondern eine mögliche Umrüstungsvariante.

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 22 Screenshot Webanwendung: Datenerfassung Raum Dachfläche.

Vorhandene Dachflächen?

☐ Keine
☐ Eine Dachfläche
☒ Zwei Dachflächen (symmetrisch)
☐ Komplexe Dachfläche
☐ Flachdach (bei Anbau)

Dachschrägendimensionen

Länge m Höhe m

Ist eine horizontale Decke vorhanden? Geben Sie bitte Breite an

Breite m

Lassen Sie die Felder leer, wenn keine horizontale Decke vorhanden ist

Geben Sie die Anzahl der Giebelwände an

Ist keine Giebelwand vorhanden, bitte 0 eingeben

Falls eine Drempelwand bzw. Kniestock vorhanden ist, geben Sie die Höhe an

Höhe m

Ist eine Gaube in der Dachschräge vorhanden? ☐ Ja ☒ Nein

Dachfenster: Falls vorhanden geben Sie in den Dachflächen enthaltene Fenster ein. Die Fensterfläche wird in der Berechnung von der Dachfläche abgezogen.

Dachfenstertyp 1

Breite m Höhe m Baujahr Anzahl

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 23 Screenshot Webanwendung: Grafische Erfassung der Heizkörper mit Abfrage der erforderlichen Abmaße.

Flachheizkörper glatt
 Flachheizkörper profiliert
 Gliederheizkörper
 Rohrradiator
 Konvektor
 Standardkonvektor

6 cm
 4,5 cm
 5 cm

Anzahl

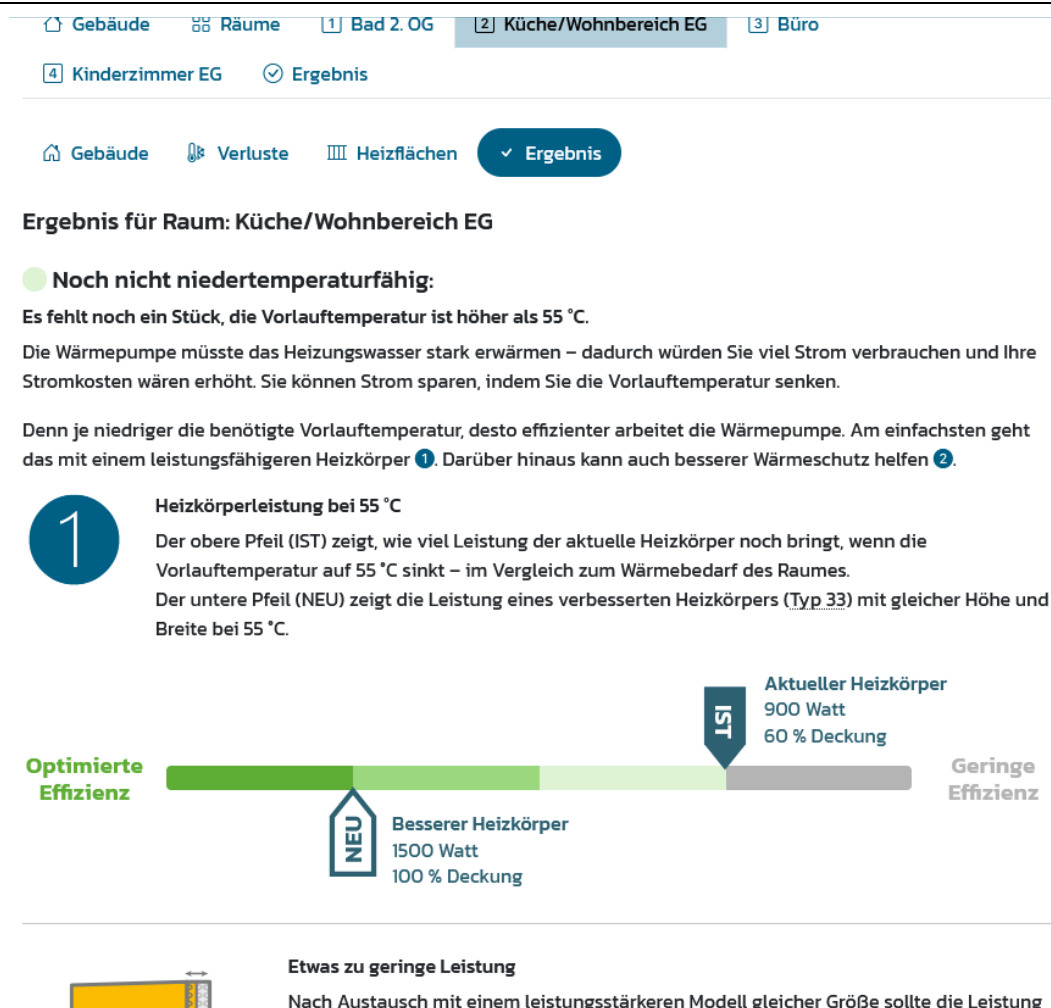
Anzahl identischer Heizkörper im Raum

Breite cm Höhe cm Tiefe cm

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Je Einzelraum werden die raumweisen Ergebnisse ausgegeben, sobald alle Angaben gemacht wurden. So gibt es erste Ergebnisse bereits nach Anlegen des ersten Raums und die Nutzer*innen müssen nicht die vollständige Datenerfassung durchhalten, bevor der Nutzen der Webanwendung sichtbar wird. Hiermit soll die Motivation erhöht und die Abbruchrate verringert werden. Abbildung 24 zeigt die Bewertung der Wärmepumpeneignung mit dem aktuellen Heizkörper sowie bei Austausch mit einem Flachheizkörper Typ 33 anhand einer vierstufigen Skala. Im linken, grünen Bereich liegt mit einem Deckungsgrad von mindestens 100 % eine Eignung vor. Der rechte, graue Bereich signalisiert mit weniger als 60 % Deckungsgrad eine deutlich zu geringe Heizleistung. Die Grün-Abstufung in der Mitte weist das Steigerungspotenzial auf. Auf eine klassische Ampel-Skala von grün bis rot wurde hier verzichtet, weil rot ein zu starkes Stopp-Signal gegeben hätte. Der Fokus des NT-ready-Standards ist jedoch der effiziente Betrieb, nicht die prinzipielle Machbarkeit. Analog wird die Bewertung in den dynamischen Texten aufgegriffen. Ab einem Deckungsgrad von 80 % besteht die Empfehlung, eine Eignung durch einen Praxistest zu prüfen. Der unter der Skala befindliche Heizkörper-Icon symbolisiert, welche Maßnahme erforderlich ist, damit der Heizkörper einen ausreichenden Deckungsgrad erreicht. Dies liegt zwischen ausreichend, verbessern (Typ 33 reicht aus), vergrößern (Typ 33 reicht nicht aus) sowie stark vergrößern (vgl. zusätzlicher Heizkörper erforderlich). Die Bewertung wird ebenso auf Textebene beschrieben.

Abbildung 24 Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisausgabe Raumebene mit Bewertung der Niedertemperaturfähigkeit vom bestehenden Heizkörper und einem besseren Heizkörper.



Quelle: Eigene Darstellung (ifu)

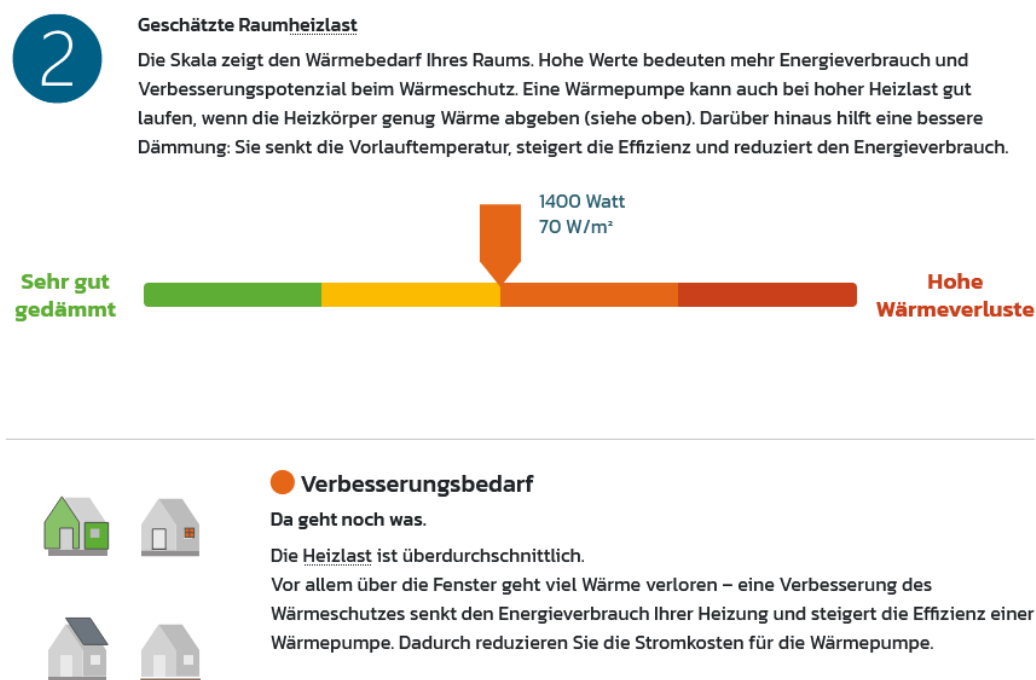
Im unteren Bereich der Raumergebnisse (vgl. Abbildung 25) wird die berechnete Heizlast sowie der Einfluss der einzelnen Bauteilarten beschrieben. Eine Ampel-Skala bewertet die spezifische raumweise Heizlast. Die Grenzwerte wurden im Fachbeirat diskutiert. Sie betragen $< 50 \text{ W/m}^2$ (grün), $50 - 70 \text{ W/m}^2$ (gelb), $70 - 90 \text{ W/m}^2$ (orange) sowie $> 90 \text{ W/m}^2$ (rot). Für die darunter dargestellten Bauteil-Icons erfolgt die Bewertung anhand der im individuellen Sanierungsfahrplan definierten U-Wert-Grenzwerte (vgl. hierzu Tabelle 4 in Kapitel 3.5).

Abbildung 26 zeigt einen Auszug der Ergebnisausgabe auf Gebäudeebene. Die Wärmepumpeneignung im Istzustand und das Potenzial eines Heizkörpertauschs werden hierbei anhand der gewichteten Einzelraumergebnisse bewertet und auf einer vierstufigen Skala analog den Einzelräumen visualisiert. Die Ergebnisdarstellung des Gesamtgebäudes erfolgt auf einer zusammenhängenden Ergebnisseite (Bewegung durch Scrollen / Wischen). Zusätzlich enthält die Sub-Navigationsleiste Sprungmarken für die einzelnen Teile der Ergebnisseite:

- ▶ Wärmepumpeneignung,
- ▶ Raumübersicht,
- ▶ Heizkörpertausch,
- ▶ Gebäudehülle und
- ▶ nächste Schritte.

Abbildung 27 zeigt einen Screenshot der Raumübersicht, die das Ergebnis der eingegebenen Räume zusammenfasst. Diese enthalten die Heizlast, die Heizkörperleistung, den Deckungsgrad, die Bewertung des schlechtesten Bauteils sowie die Einordnung des Potenzials eines Heizkörpertauschs. Zugleich kann aus dieser Übersicht zurück in die Eingabeebene der Einzelräume gewechselt werden.

Abbildung 25 Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisausgabe Raumebene mit Einstufung der Einstufung der Hüllflächenqualität.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 26 Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisseite Gebäude mit Bewertung der Wärmepumpeneignung.



Teilweise niedertemperaturfähig – Maßnahmen erforderlich

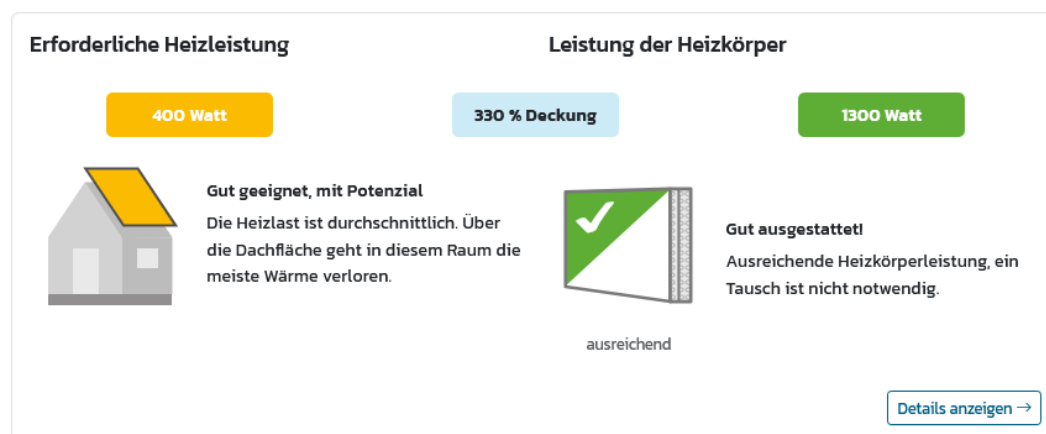
Gute Basis – mit Potenzial

In einem gut auf eine Wärmepumpe vorbereiten Haus sollte eine Vorlauftemperatur von 55 °C ausreichen, damit Sie sich auch an kalten Wintertagen wohlfühlen. Manche der erfassten Räume lassen sich bereits mit niedrigen Vorlauftemperaturen erwärmen. Einige Räume brauchen jedoch eine höhere Vorlauftemperatur. Mit einfachen, gezielten Maßnahmen kann die Vorlauftemperatur ausreichend reduziert und das Gebäude effizient und wirtschaftlich mit einer Wärmepumpe beheizt werden. Schon der Tausch eines Heizkörpers kann oft ausreichen, um die Vorlauftemperatur deutlich zu senken. Ein Blick in die Grafik zeigt, ob das bei Ihrem Gebäude klappt. Am Markt sind immer mehr Wärmepumpen verfügbar, die höhere Temperaturen als 55 °C effizienter bereitstellen können. Solche Hochtemperatur-Wärmepumpen können auch eine Lösung sein.

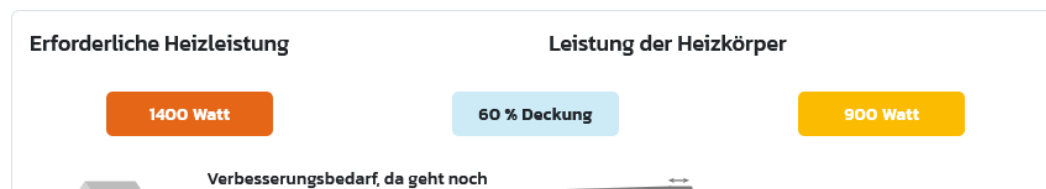
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 27 Screenshot Webanwendung: Auszug Ergebnisseite Gebäude mit Dashboard zur Raumübersicht mit Angabe von Heizlast, Heizleistung, Deckungsgrad und Potenzial Heizkörpertausch.

Bad 2. OG (Heizlast 50 W/m²)



Küche/Wohnbereich EG (Heizlast 70 W/m²)



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

5 Exkurs: Schlechtpunkträume

Nachfolgend soll anhand von DIN EN 12831 Daten zur raumweisen Heizlast der Fragestellung nachgegangen werden, durch welche Eigenschaften Schlechtpunkträume charakterisiert sind und wie diese von den Randbedingungen des Gesamtgebäudes abhängen. Ein Schlechtpunktraum im Sinne der Wärmepumpeneignung ist:

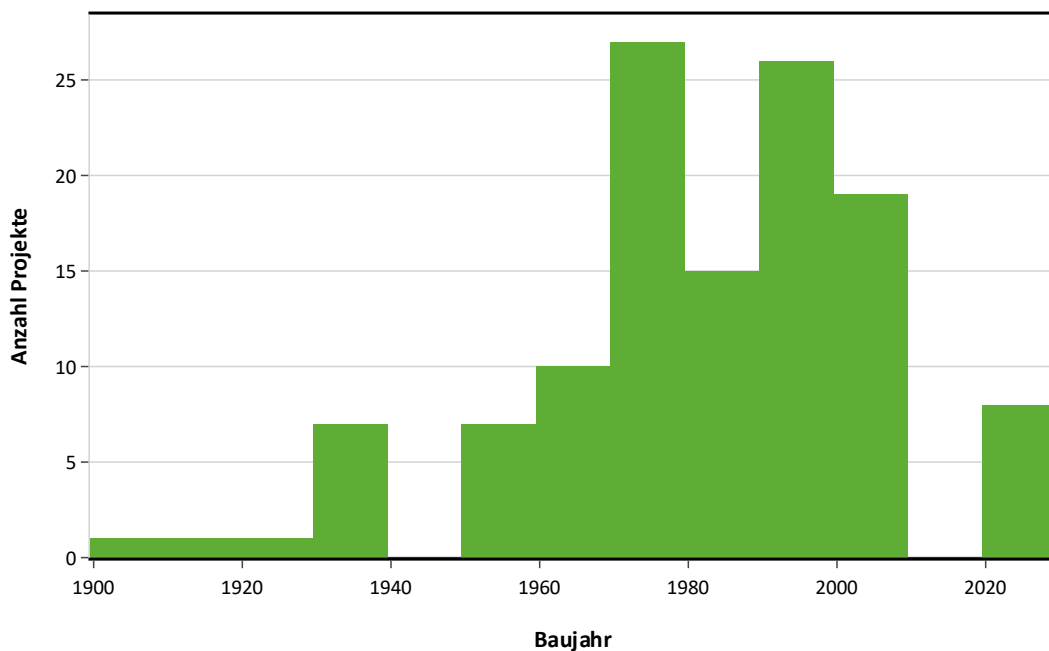
Ein Raum, der aufgrund geringer Heizlastdeckung maßgeblich die erforderliche Mindestvorlauftemperatur des Heizkreises bestimmt, um die gewünschte Raumtemperatur zu gewährleisten.

Im Austausch mit dem Fachbeirat des Projektes konnten folgende Experteneinschätzungen identifiziert werden, welche die Grundthesen zur Ermittlung der Schlechtpunkträume bilden:

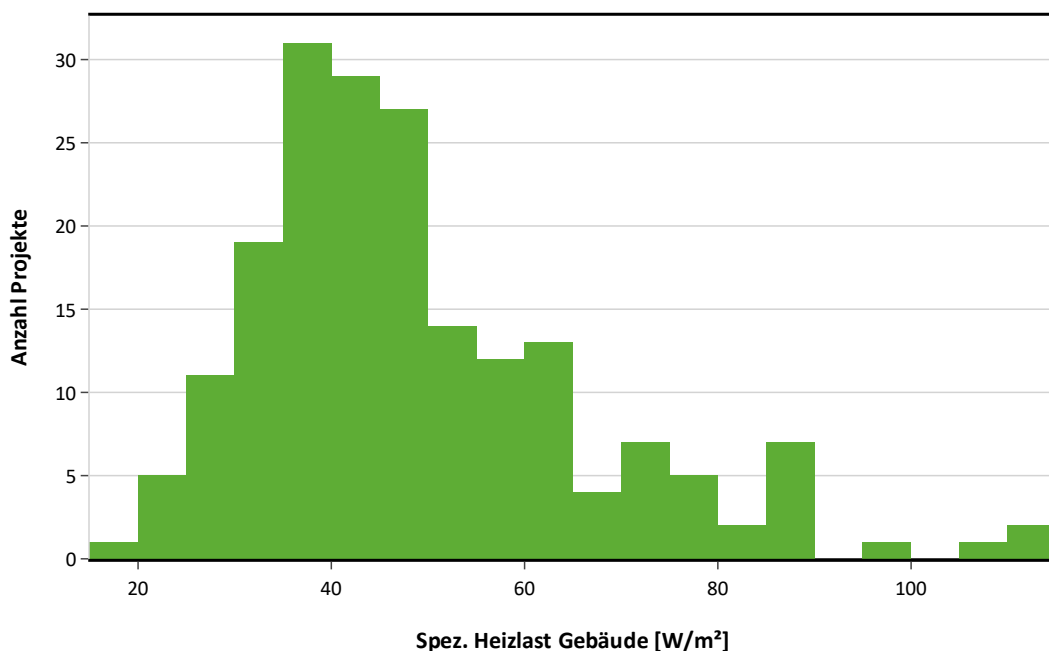
- ▶ Je größer der Außenwandanteil, desto höher sind die Wärmeverluste,
- ▶ Mit steigendem Fensterflächenanteil nehmen die Wärmeverluste zu,
- ▶ Die größten Wärmeverluste bestehen im Dachgeschoss durch einen größeren Anteil der unbeheizten Umhüllungsfläche,
- ▶ Es besteht eine hohe rechnerische Heizlast in Badezimmern,
- ▶ Bei komplexen Grundrissen ist die Ungleichverteilung der Raumheizlast größer als bei kompakten Grundrissen.

Für die vorliegende Analyse wurden 191 Datensätze von Gebäuden mit jeweils einer Zone zur raumweisen Heizlast nach DIN EN 12831 ausgewertet. Die Daten stammen aus Berechnungen des *Ingenieurbüro Heckmann* und bieten eine raumweise und bauteilscharfe Grundlage, um den Einfluss verschiedener Gebäudeeigenschaften sowie der Lage und Art der Räume auf die raumweise Heizlast zu untersuchen. Ziel der Auswertung ist es, potenzielle Schlechtpunkträume zu charakterisieren.

Die Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen eine Übersicht der untersuchten Berechnungsdaten. Die Gebäude wurden maßgeblich zwischen 1970 und 2009 gebaut und ein Großteil der Gebäude weist eine spezifische Heizlast zwischen 30 und 60 W/m² (Median: 45 W/m²) auf und hat damit in der Tendenz ein besseres Wärmeschutzniveau als die Baualtersverteilung erwarten lässt. Dies ist unter anderem auf den nachträglichen Wärmeschutz vieler Gebäude zurückzuführen. Die Gebäude haben eine Nettogrundfläche von 100 bis 300 m² (Median: 196 m²).

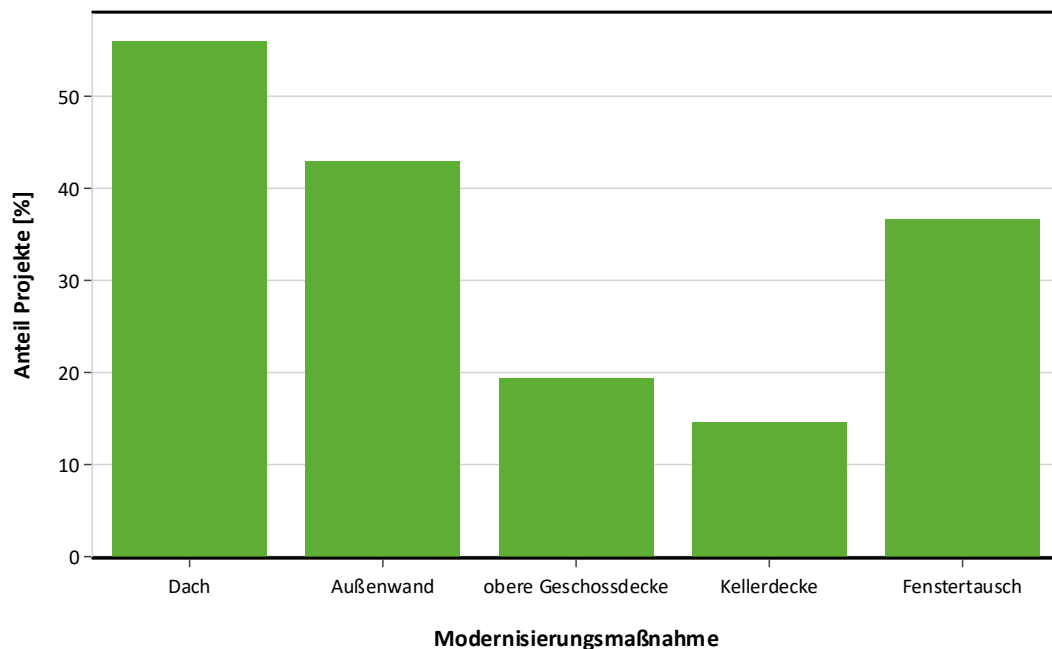
Abbildung 28 Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Verteilung des Baujahrs

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 29 Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Verteilung der mittleren spezifischen Heizlast der Gebäude

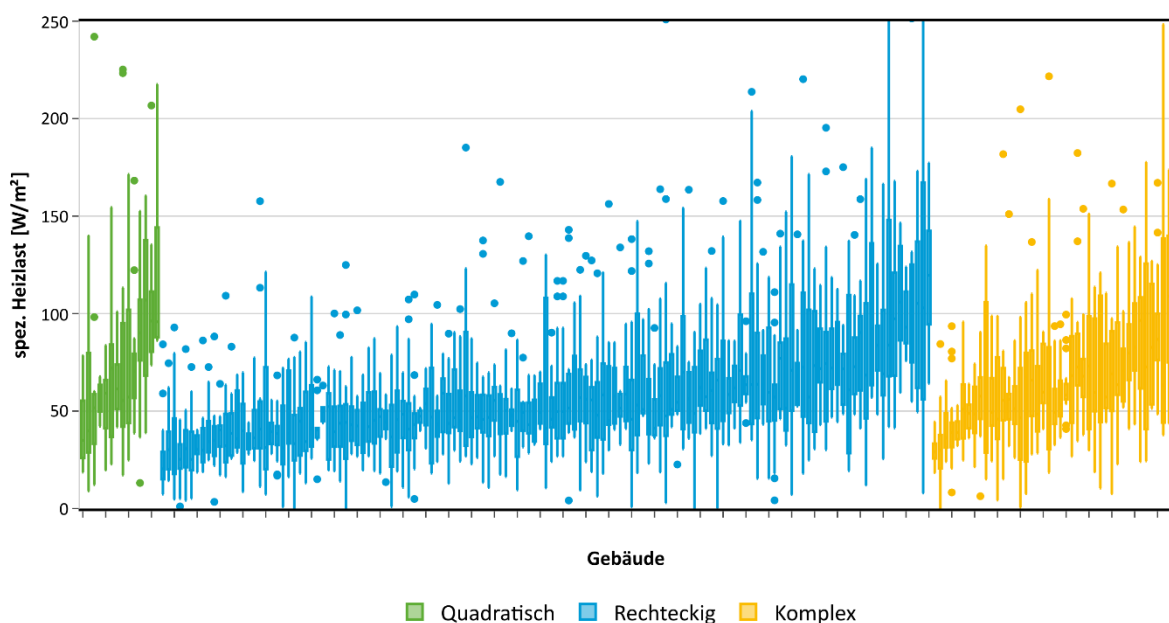
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Das Dach wurde bei knapp über der Hälfte der Gebäude nachträglich gedämmt (107 Gebäude) und die Außenwand bei 82 Gebäuden. In 70 Gebäuden wurden die Fenster getauscht und eine Dämmung der oberen Geschossdecke und der Kellerdecke wurde für circa 25 Gebäude durchgeführt (vgl. Abbildung 30). Für eine Vielzahl der Gebäude wurden zwei oder mehr der genannten Maßnahmen durchgeführt. 63 Gebäude wurden gar nicht modernisiert, diese sind jedoch überwiegend 1990 oder später gebaut. Folglich wurde eine Vielzahl der betrachteten Gebäude bereits mindestens partiell auf die Absenkung der Heizkreisvorlauftemperatur vorbereitet.

Abbildung 30 Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Anteil der Sanierungen je Bauteil

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

In der Abbildung 31 ist die Ungleichverteilung der spezifischen Raumheizlast je Einzelgebäude in einem Boxplot dargestellt (die dicke Linie umschließt das erste und dritte Quantil, die dünne Linie gibt den Datenbereich ohne Ausreißer an und die Punkte stellen die Minimal- bzw. Maximalwerte dar). Darüber hinaus ist in der Darstellung zwischen quadratischer (grün), rechteckiger (blau) und komplexer (gelb) Grundfläche differenziert. Die Streuung der raumweisen spezifischen Heizlast je Gebäude variiert sehr stark. Das 1. Quartil und das 3. Quartil liegen für 50 % der Gebäude maximal 25 W/m^2 auseinander. Für die oberen 25 % der Gebäude ist die Streuung hingegen mit mindestens 37 W/m^2 deutlich größer.

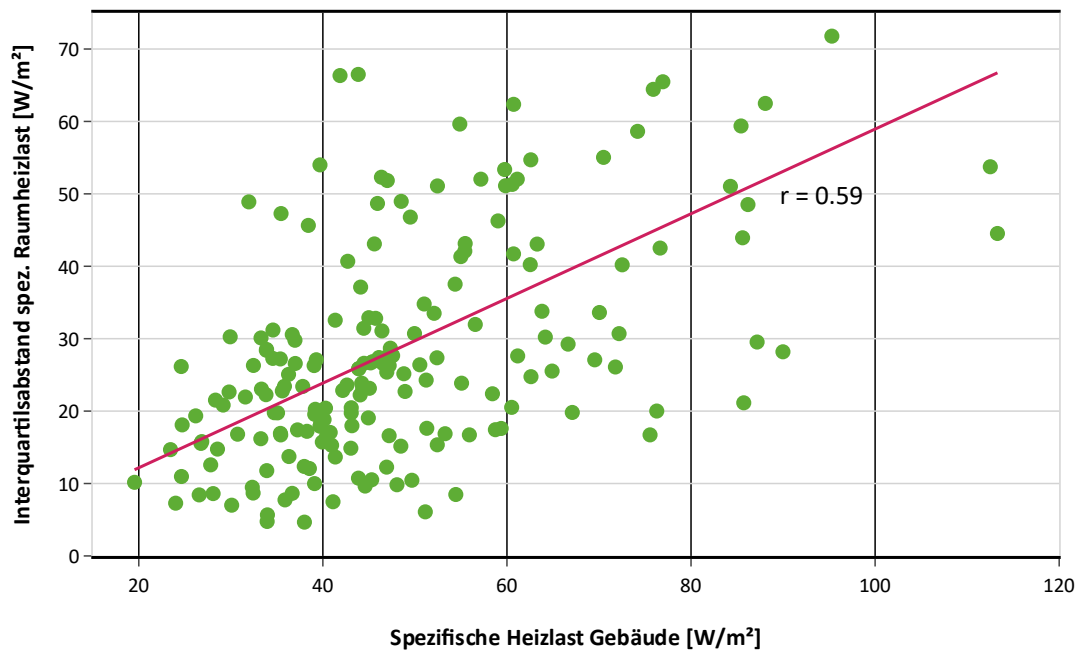
Abbildung 31 Verteilung der spezifischen Raumheizlast je Einzelgebäude für quadratische (grün), rechteckige (blau) und komplexe (gelb) Grundfläche.

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Es ist ersichtlich, dass die Streuung der Raumheizlast mit zunehmendem Median ($\sim$ mittlere Gebäudeheizlast) zunimmt. Dieser Zusammenhang wird in der Abbildung 32 dezidiert untersucht. Diese zeigt je Gebäude die Differenz zwischen dem 25 % Quantil und dem 75 % Quantil der spezifischen Heizlast der Räume im Gebäude, also die mittlere Streuung der mittleren 50 % der Daten (Interquartilsabstand, vertikale Achse), gegenüber der spezifischen Gebäudeheizlast auf der horizontalen Achse. Die Korrelation ist mit 0,59 gut erkennbar. Gebäude mit schlechterem Wärmeschutzniveau weisen demnach eine höhere Ungleichverteilung der Raumheizlast und damit klarer zu identifizierende Schlechtpunkträume auf. Eine vergleichbare Tendenz, jedoch mit geringerer Ausprägung ($r = -0,35$), zeigt der Einfluss des Gebäude-Baujahrs für eine Subgruppe von unsanierten Gebäuden (vgl. Abbildung 33).

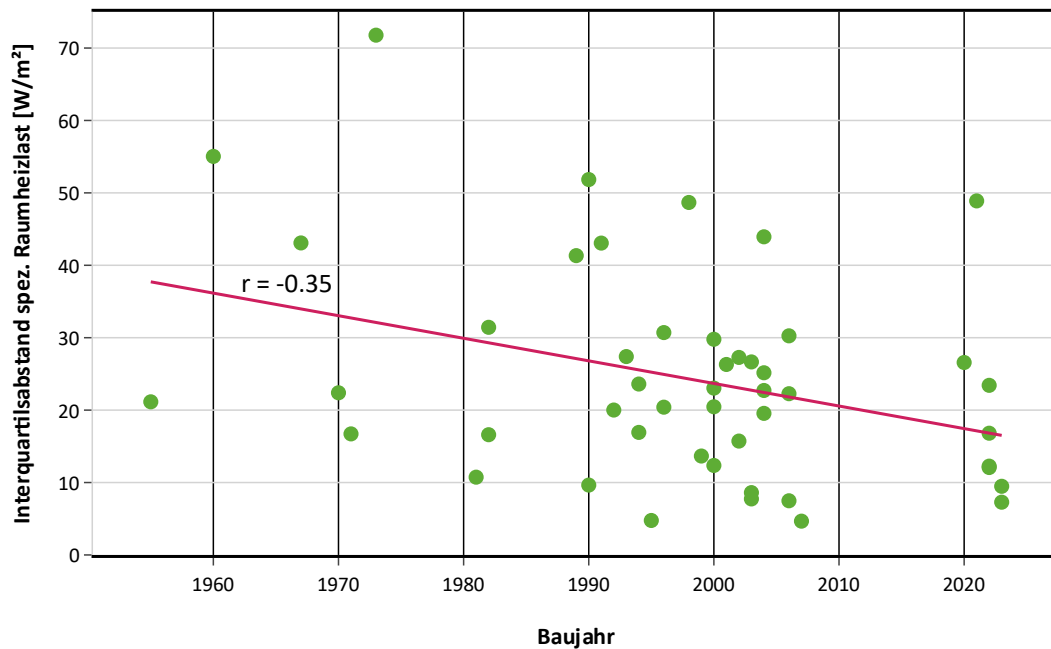
Es bestand die These, dass die Streuung für Gebäude mit rechteckiger oder komplexer Form größer ist als für Gebäude mit quadratischer Grundfläche. Diese Tendenz lassen die Daten jedoch nicht erkennen.

Abbildung 32 Abhängigkeit der Ungleichverteilung der Raumheizlast von der spezifischen Gebäudeheizlast anhand des Interquartilsabstands der spez. Raumheizlast je Gebäude.



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 33 Abhängigkeit der Ungleichverteilung der Raumheizlast vom Baujahr anhand des Interquartilsabstands der spez. Raumheizlast je Gebäude (unsaniert).



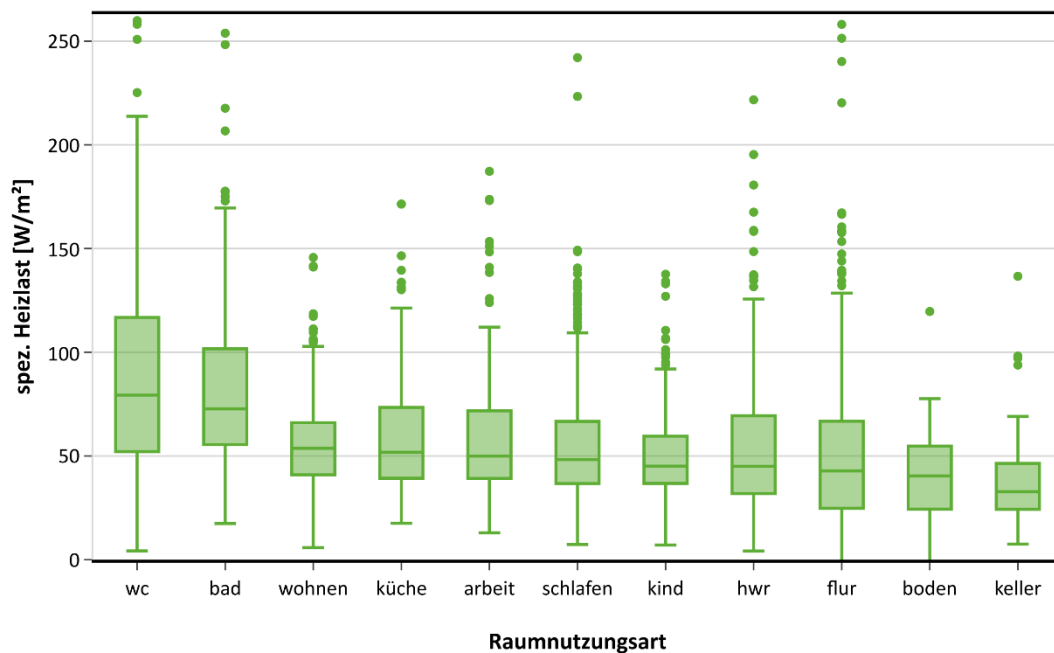
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Abbildung 34 stellt für alle ausgewerteten Gebäude die spezifische Raumheizlast abhängig von der Raumnutzungsart dar. Die mit Abstand höchste mittlere Heizlast besteht in den WCs und den Badezimmern. Für die Badezimmer liegt dies insbesondere in der nach DIN EN 12831 vorgeschriebenen höheren Norm-Innentemperatur von 24 °C begründet. Für die WCs ist die Ursache nicht eindeutig. Hier liegt weiterhin eine größere Streuung über die betrachteten Räume vor. Räume mit im Mittel geringerer Heizlast sind Keller, Dachböden/Spitzböden sowie Hauswirtschaftsräume (hwr) und Flure. Die Flure unterscheiden sich in ihrer Lage und Größe stark und weisen deshalb eine große Bandbreite sowie zum Teil rechnerisch leicht negative Heizlasten auf.

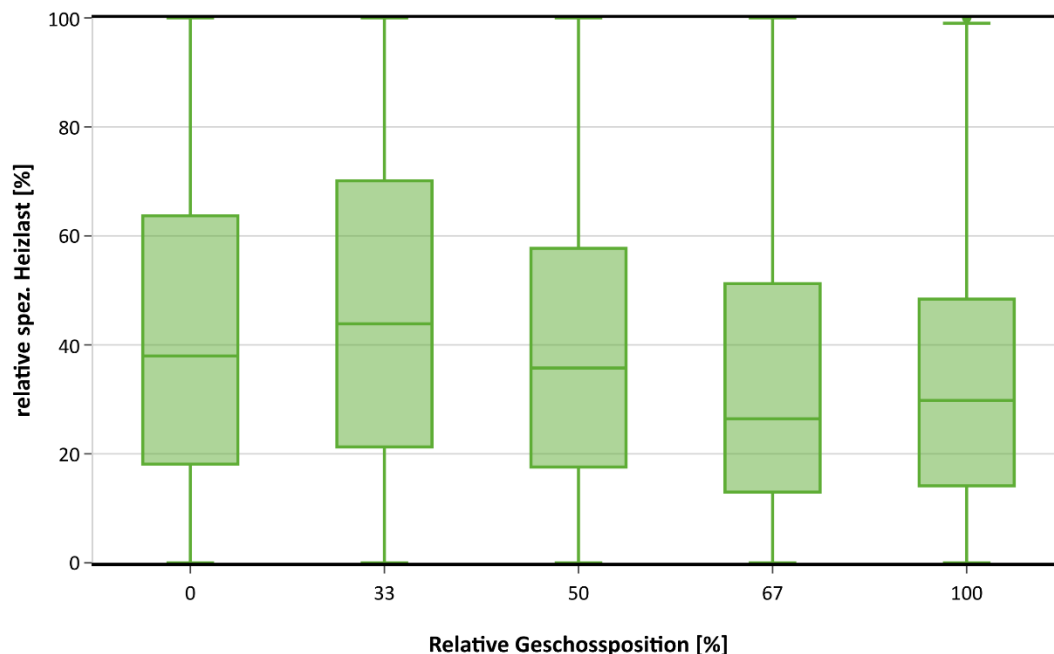
Der Einfluss des Geschosses auf die Raumheizlast wird in der Abbildung 35 untersucht. Hierin ist auf der vertikalen Achse die auf die maximale spezifische Raumheizlast bezogene spezifische Raumheizlast dargestellt. Durch diese Bezugsgröße werden die Einzelräume je Etage gebäudeweise prozentual gegenüber dem schlechtesten Raum eingeordnet, um diese unabhängig vom Wärmeschutzniveau des Gebäudes zu vergleichen.

Auf der horizontalen Achse ist die relative Geschossposition dargestellt (links = 0 %, rechts = 100 %). Ganz links ist je nach Gebäude das Kellergeschoss oder Erdgeschoss angeordnet, ganz rechts das Obergeschoss oder das Dachgeschoss. Den dazwischen dargestellten Positionen (33 %, 50 % und 67 %) sind die Werte entsprechend der Anzahl der Geschosse (1 bis 3) zugeordnet.

Eingangs wurde die These von Schichtpunkträumen in Dachgeschoss-Räumen diskutiert. Dies geht hinsichtlich der spezifischen Heizlast aus den untersuchten Daten nicht hervor. Die höchste spezifische Heizlast besteht im Erdgeschoss. In den Räumen in umschlossenen Geschossen (hier 0.5 und 0.6) ist die Raumheizlast erwartungsgemäß geringer.

Abbildung 34 Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Bandbreite der spezifischen Raumheizlast abhängig von der Raumnutzungsart

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 35 Auswertung DIN EN 12831 Berechnungsdaten: Verteilung der relativen spezifischen Raumheizlast abhängig von der relativen Geschosshöhe

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die diskutierten Auswertungen bieten spannende Erkenntnisse für die Eigenschaften von Schlechtpunkträumen sowie den Einfluss des Gebäudes. Dennoch sind die Ergebnisse nicht ausreichend generalisierbar, um hieraus Empfehlungen für die Nutzer*innen des Gebäudecheck Wärmepumpe abzuleiten. Darüber hinaus ist ein Raum hinsichtlich der Wärmepumpeneignung dann ein Schlechtpunkt, wenn für die Heizlastdeckung eine sehr hohe Vorlauftemperatur

benötigt wird. Im Projekt war eine Analyse der zugehörigen Heizkörperdaten jedoch nicht möglich. Aus diesem Grund werden auf Basis der eingangs vorgestellten qualitativen Thesen, unter Berücksichtigung der vorliegenden Auswertungen, folgende Fragestellungen zur Auswahl der Räume im Gebäudecheck Wärmepumpe abgeleitet:

- ▶ Bleibt der Raum im Winter oft zu kalt?
- ▶ Hat der Raum viel Kontakt zur Außenluft (über Außenwand, Dach, Fenster)?
- ▶ Liegt der Raum über oder unter unbeheizten Räumen oder direkt an der Außenluft?
- ▶ Hat der Raum viel Fensterfläche?

6 Plausibilisierung und Robustheit

Als Benchmark der Genauigkeit des Gebäudechecks Wärmepumpe eignet sich die raumweise Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 sowie die Berechnung der Heizkörperleistung anhand des hydraulischen Abgleichs Verfahren B. Die maßgebliche Zielgröße der Empfehlungen im Tool ist der Deckungsgrad, dessen Unsicherheit grundsätzlich von folgenden Einflussfaktoren abhängt:

- ▶ Wärmeübergangskoeffizienten (U-Werte) der Bauteile,
- ▶ Effektive Gesamtflächen der Bauteile,
- ▶ An die Bauteile angrenzende Temperaturen bzw. Temperaturdifferenz sowie
- ▶ Heizleistung der Heizkörper im Raum.

Alle genannten Größen gehen linear in die Berechnung des Deckungsgrads ein.

Die Abweichung der berechneten Heizkörperleistungen gegenüber dem Verfahren B ist bei korrekter Erhebung der Heizkörpertypen und -maße vernachlässigbar gering, da diese auf den gleichen Rechenmethoden und Heizkörperdaten basiert (vgl. Kapitel 2.3). Für die angrenzende Temperatur besteht für die überwiegenden Fälle eine hohe Übereinstimmung mit der DIN EN 12831, da die zugehörigen Temperatur-Korrekturfaktoren auf Basis des vereinfachten Verfahrens Tabelle B.11 bestimmt werden (vgl. Kapitel 2.2). Dies gilt für das Angrenzen an Außenluft, Erdreich oder an Räume mit unter 15 °C Raumtemperatur. Abweichungen bestehen dann, wenn innerhalb des Gebäudes Raumtemperaturen in einem Maß variieren, welches durch das Tool vernachlässigt wird. Als Beispiel sei hier das an einen Flur ohne Heizkörper grenzende Badezimmer genannt (siehe unten, Kapitel 6.2.1).

Demnach stellen die gewählten U-Werte sowie die Bauteilflächen die größten Unsicherheitsfaktoren in der Berechnung dar. Im Kapitel 6.1 werden die nach TABULA zugrunde gelegten U-Werte mit typischen U-Werten aus der Praxis der raumweisen Heizlastberechnung gegenübergestellt. Das Kapitel 6.2 widmet sich dem Einfluss der effektiven Bauteilflächen. Geschossräume können aufgrund einer einfachen Vermessung und Berechnung der Flächen und ohne die Notwendigkeit einer Approximation von effektiven Flächen sehr gut abgebildet werden. Aus diesem Grund konzentriert sich dieser Teil der Plausibilisierung auf Dachräume und den Einfluss der getroffenen Vereinfachungen.

Die Unsicherheit der Bauteilflächen wird anhand der Dachräume von zwei exemplarischen Gebäuden betrachtet. Diese eignen sich, um Abweichungen in der Methodik qualitativ zu diskutieren. Darüber hinaus werden in diesem Kapitel die resultierenden Heizlasten und der Einfluss und Abweichungen der einzelnen Bauteile für die Beispielgebäude dargestellt und diskutiert.

6.1 U-Werte

Durch die Verwendung der TABULA Datenbank (Loga et al. 2015) sind die verwendeten U-Werte bereits gesetzt. Anhand der aus Kapitel 5 bekannten Beispielprojekte von DIN EN 12831 Heizlastberechnungen werden diese mit den in der Praxis angesetzten U-Werten gegenübergestellt. In der Analyse werden nur Gebäude mit explizit bekanntem Baujahr (122 von 191 Gebäuden) einbezogen und von diesen nur diejenigen Bauteile, die nicht nachträglich modernisiert wurden (siehe hierfür Kapitel 5). So ist es möglich, die in TABULA dokumentierten

U-Werte für unterschiedliche Bauzeitalter den in der Praxis vorherrschenden U-Werten gegenüberzustellen.

Bestimmung der U-Werte in den nach DIN EN 12831 berechneten Projekten

Die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) erfolgt auf Grundlage der vom Auftraggeber bereitgestellten Bauteilaufbauten. Diese werden systematisch über eigens entwickelte Erfassungsformulare abgefragt, in denen für jede Bauteilgruppe (Wand, Dach, Decke, Boden, Fenster) sowohl typische Schichtaufbauten als auch erläuternde Abbildungen und Beispielkonstruktionen hinterlegt sind. Dadurch wird eine eindeutige und reproduzierbare Zuordnung der vom Auftraggeber beschriebenen Bauteile ermöglicht.

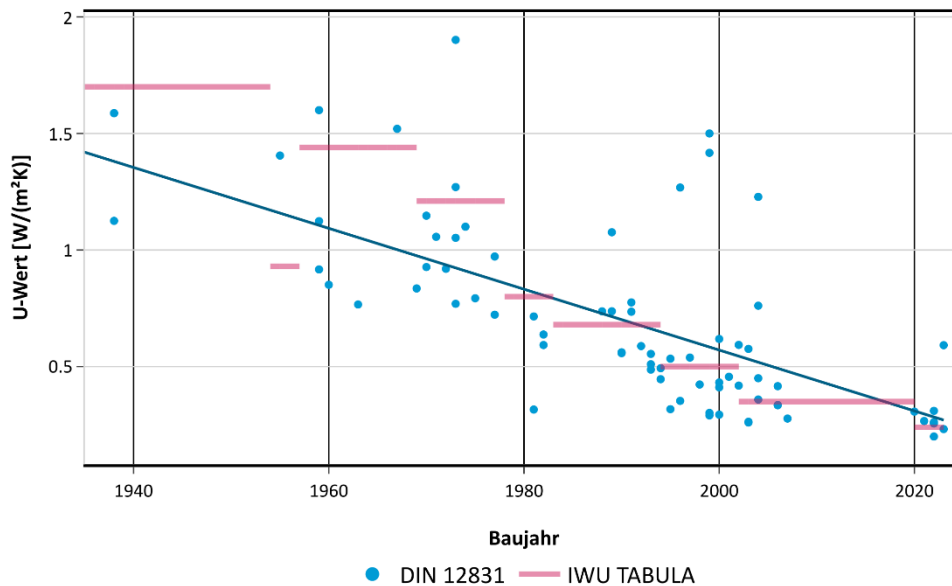
Die Berechnung der U-Werte erfolgt anschließend mit der **Pro-Version der Software „Ubakus“**, die über eine umfangreiche Datenbank mit historischen und aktuellen Baustoffen verfügt. Für jedes Bauteil wird der Aufbau gemäß den angegebenen Schichten modelliert und der resultierende Wärmedurchgangskoeffizient nach den zugrunde liegenden Normverfahren (DIN EN ISO 6946) berechnet.

Zur Qualitätssicherung werden die verwendeten Baustoffdaten regelmäßig mit einem internen **Materialkatalog** abgeglichen, der eine Vielzahl von Originaldokumentationen und technischen Datenblättern (z. B. von Mauersteinen und Dämmstoffen) umfasst. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass auch ältere oder nicht mehr handelsübliche Materialien möglichst realitätsnah berücksichtigt werden.

Für die Analyse wurden die raumweisen DIN EN 12831 Daten aufbereitet und die U-Werte der Bauteile aller Räume jeweils flächengewichtet gemittelt. Dieser Ansatz ist erforderlich, da die Berechnungen mitunter innerhalb eines Gebäudes zwischen unterschiedlichen Bauteiltypen unterscheiden und somit beispielsweise zwei U-Werte für die Außenwand vorliegen. Hieraus resultiert für jedes Gebäude ein mittlerer U-Werte-Satz für die enthaltenen Bauteile. Die Tabelle 17 bis Tabelle 21 im Anhang stellen die mittleren U-Werte nach TABULA sowie der DIN EN 12831 Projekte je Bauzeitalter gegenüber. Aus den Analysen resultieren mitunter ausgeprägte Abweichungen der TABULA Werte von den Praxisbeispielen nach Norm. Hergeleitet aus diesen Gegenüberstellungen finden punktuelle Korrekturen der U-Wert-Datenbasis statt. Dies betrifft insbesondere das Bauteil Dach und Decke (obere Geschossdecke) sowie punktuell die Fenster und den Fußboden.

Die Abbildung 36 stellt die mittleren U-Werte der Außenwand je Gebäude (vertikale Achse) für die unterschiedlichen Baujahre (horizontale Achse) dar. Die Trendlinie zeigt dabei die mittlere Entwicklung abhängig vom Baujahr. Die roten horizontalen Linien stellen die nach TABULA resultierenden U-Werte des Bauteils dar. Es zeigt sich, dass die U-Werte ab Baujahr 1984 durch die TABULA-Werte mit guter Übereinstimmung getroffen werden. Für Baujahre vor 1979 liegen die TABULA-Werte zunehmend über denjenigen nach DIN EN 12831 (siehe auch Tabelle 17 im Anhang A.2).

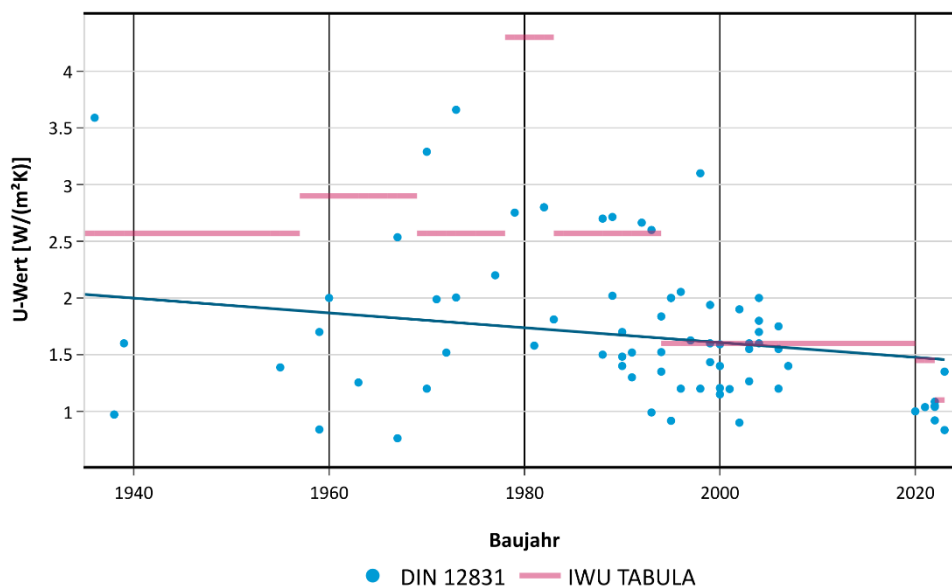
Abbildung 36 U-Werte für das Bauteil Außenwand der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Abbildung 37 stellt analog zur vorhergehenden Abbildung die mittleren U-Werte der Fenster je Gebäude dar. Die U-Werte ab Baujahr 1995 zeigen im Mittel eine hohe Übereinstimmung. Für ältere Baujahre vor 1995 und insbesondere vor 1969 liegen die U-Werte nach TABULA deutlich über denjenigen der betrachteten Projekte. Insbesondere der „Ausreißer“ der TABULA Daten im Bauzeitalter 1979 – 1983 mit einem U-Wert von 4,3, kann durch die betrachteten DIN EN 12831 Daten nicht bestätigt werden. Aus diesem Grund wird der genannte Wert mit den U-Werten im vorhergehenden und nachfolgenden Bauzeitalter harmonisiert und auf 2,57 W/(m²K) korrigiert (siehe auch Tabelle 18 im Anhang A.2).

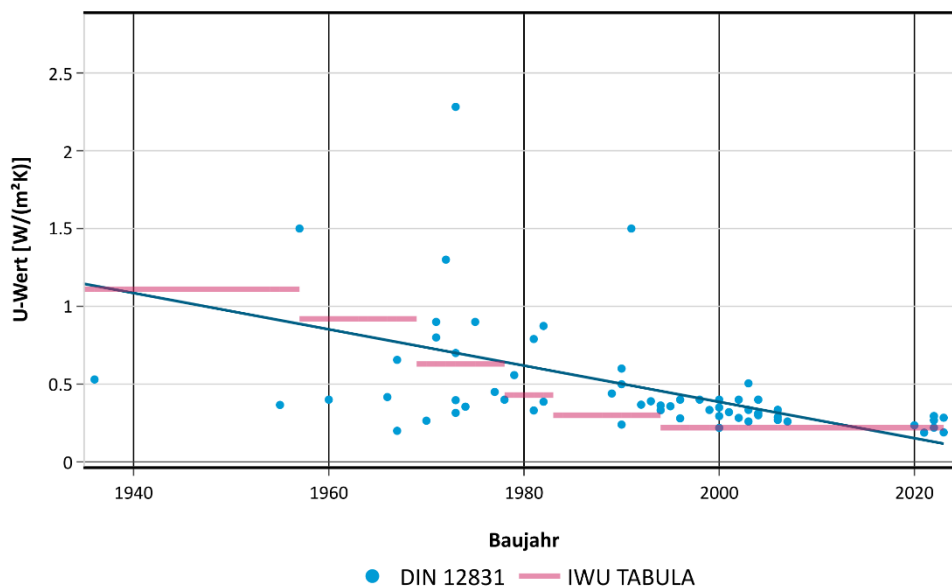
Abbildung 37 U-Werte für das Bauteil Fenster der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Abbildung 38 stellt analog zur vorhergehenden Abbildung die mittleren U-Werte der Dächer je Gebäude dar. Für neuere Baujahre zwischen 1995 und 2008 ist die mittlere Abweichung zwar relativ gering, jedoch liegen alle Projekte oberhalb des in TABULA angesetzten Kennwerts. Ähnliches gilt für den Zeitraum 1984 bis 1994. Der in TABULA zwischen 1995 und heute mit einem konstanten Niveau von $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angegebene U-Wert spiegelt sich in der gebauten Praxis nicht wider und stimmt auch nicht mit den U-Wert-Vorgaben in diesen Zeiträumen überein. Daher werden die U-Werte zwischen 1984 und 2008 im Tool abweichend von TABULA angehoben, auf das Niveau, wie es die WSVO beziehungsweise die EnEV in diesen Zeiträumen vorschrieben: Diese liegen bei $0,45$ (1984-1994), $0,3$ (1995-2002) und gemittelt $0,275$ (2003-2008). Die TABULA Werte, die mittleren U-Werte der Norm-Berechnung sowie die punktuellen Anpassungen (Spalte „U-Wert Korrektur GCWP“) sind in der Tabelle 19 im Anhang A.2 dargestellt.

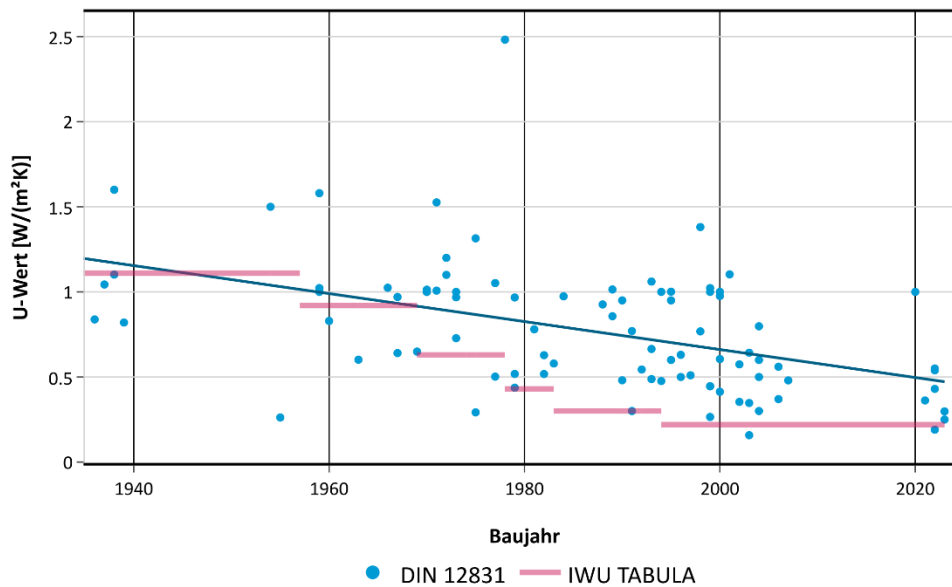
Abbildung 38 U-Werte für das Bauteil Dach der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Abbildung 39 stellt analog zur vorhergehenden Abbildung die mittleren U-Werte der Deckenbauteile je Gebäude dar. Die U-Werte der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude liegen auch hier durchweg über den in TABULA angesetzten Werten. Am ausgeprägtesten ist diese Differenz im Bauzeitalter 1979 – 2002 mit einer Abweichung von $+0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ von den gebauten Vergleichswerten. Für alte Gebäude ist die Abweichung hingegen kleiner. Entsprechend der gesetzlichen U-Wert-Vorgaben in diesen Zeiten, werden die U-Werte zwischen 1984 und 2008 im Tool auf die identischen Werte wie für das Bauteil Dachfläche angehoben (siehe auch Tabelle 20 im Anhang A.2).

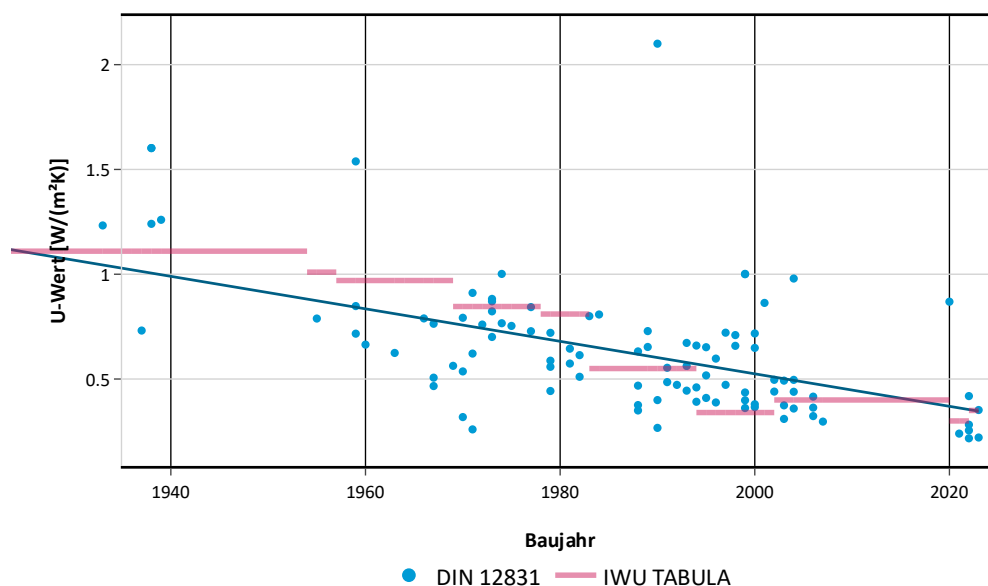
Abbildung 39 U-Werte für das Bauteil Decke der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Abbildung 40 stellt analog zur vorhergehenden Abbildung die mittleren U-Werte des Bauteils Fußboden je Gebäude dar. Anders als für die Deckenbauteile liegen TABULA-Werte und die U-Werte der Beispielgebäude gut beieinander. Für Gebäude mit Baujahr vor 1984 ist die Abweichung tendenziell negativ, sodass nach TABULA höhere U-Werte resultieren. Nicht plausibel ist der vergleichsweise geringe U-Wert im Zeitraum 1995 bis 2002. Dieser wird im Tool auf Basis der gesetzlichen Vorgaben zu dieser Zeit auf 0,5 W/(m²K) angehoben (siehe auch Tabelle 21 im Anhang A.2). Insgesamt besteht eine gute Übereinstimmung zwischen TABULA und gebauter Praxis.

Abbildung 40 U-Werte für das Bauteil Fußboden der nach DIN EN 12831 berechneten Gebäude abhängig vom Baujahr (blau) sowie U-Werte nach TABULA (rot).



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die Analysen verdeutlichen, dass durch die Vorauswahl des gebauten U-Werts abhängig vom Gebäudealter und -typ anhand von Standard-Werten bereits eine deutliche Abweichung zu vergleichswisen Berechnungen nach DIN EN 12831 resultieren kann. Da auch bei einer professionellen Heizlastberechnung normalerweise keine Probebohrungen gesetzt, Messungen gemacht oder Bauteilproben genommen werden, besteht letztlich auch für die DIN EN 12831 Datengrundlagen eine Grundunsicherheit. Die Analysen verdeutlichen jedoch, dass die Varianz in der Praxis deutlich höher ist als dies durch die Standardwerte nach TABULA abgebildet werden kann. Da je nach Bauteil und Bauzeitalter zum Teil Abweichungen der U-Werte von über 100 % bestehen, sind die zu Grunde gelegten U-Werte der größte Unsicherheitsfaktor der Heizlastberechnungen sowie resultierenden Deckungsgrade im Tool. Werden nachträgliche Modernisierungsmaßnahmen unter Angabe der Dämmschichtdicke erfasst, führt dies zu einer Verringerung der Unsicherheit, da diese den Gesamt-U-Wert dominieren und bei regulären Dämmstoffen (vergleichbarer Wärmedurchgangskoeffizient) eine höhere Genauigkeit aufweisen.

6.2 Bauteilflächen und Wärmeverluste

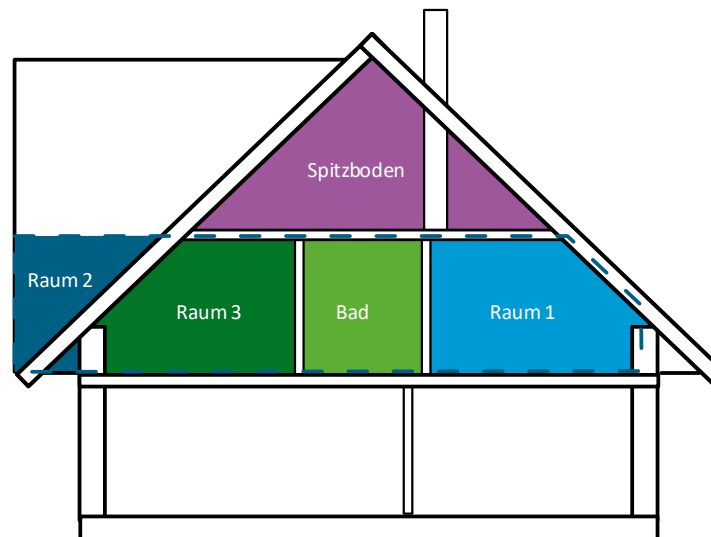
Wie eingangs erörtert, besteht zwischen Geschossräumen und Dachräumen der grundsätzliche Unterschied, dass nur bei vorhandenen Dachflächen eine Vereinfachung der Flächenerhebung und somit die Abschätzung effektiver Bauteilflächen erforderlich ist (siehe Kapitel 3.4). Aus diesem Grund konzentriert sich die Überprüfung der Plausibilität von effektiven Bauteilflächen auf Dachräume. Die Abbildung 55 und Abbildung 56 stellen exemplarisch einen Dachraum ohne Dachflächen und die hier resultierende vergleichsweise geringe Abweichung von Flächen und Wärmeverlusten dar.

Um die Unterschiede zwischen der vereinfachten Vermessung und den Berechnungen nach DIN EN 12831 zu prüfen, werden die Dachräume zweier Beispielgebäude anhand von Schnitten und Grundrissen entsprechend der sichtbaren Innenmaße im Gebäudecheck Wärmepumpe angelegt. Ziel ist hierbei eine Plausibilitätsprüfung der effektiven Bauteilflächen des Tools mit den in der Berechnung nach DIN EN 12831 zugrunde gelegten Flächen. Dabei werden gemeinsam mit den Flächen die Wärmeverluste je Raum diskutiert, unter Berücksichtigung der Abweichungen in den U-Werten. Diese sind tabellarisch im Anhang dokumentiert. Es wird ein Gebäude mit Quergiebel und ein Gebäude mit Gauben untersucht.

6.2.1 Gebäude Quergiebel

Die Abbildung 41 stellt das erste Beispiel „Gebäude Quergiebel“ mit einem großen, dachhohen Quergiebel dar. Dieses umfasst drei Wohnräume, rechts (Raum 1) und links (Raum 3) unter einer Dachschräge sowie über die vollständige Breite des Gebäudes inklusive des Quergiebels (Raum 2). Weiterhin sind das Badezimmer ohne Dachflächen und ein Spitzboden vorhanden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Plausibilisierung des „Gebäude Quergiebel“ anhand von Grafiken zu den approximierten Bauteilflächen und den aus Bauteilflächen und U-Werten resultierenden Transmissionswärmeverlusten je Bauteil sowie den Lüftungswärmeverlusten analysiert. Die zugehörigen Daten werden in der Tabelle 22 für die Wärmeverluste, Tabelle 23 für die Bauteilflächen und Tabelle 24 für die angesetzten U-Werte im Anhang A.2 dokumentiert. Die Raumtemperaturen werden im Tool identisch zur Norm-Berechnung parametrisiert und auch die Norm-Außentemperatur stimmt aufgrund einer identischer Datenbasis überein. Abweichungen bestehen neben den Bauteilflächen und U-Werten bei den Temperaturen in unbeheizten Räumen, die in der Norm-Berechnung aufgrund der iterierten Wärmeströme bestimmt, im Tool jedoch nicht bilanziert werden.

Abbildung 41 Querschnitt durch das „Gebäude Quergiebel“

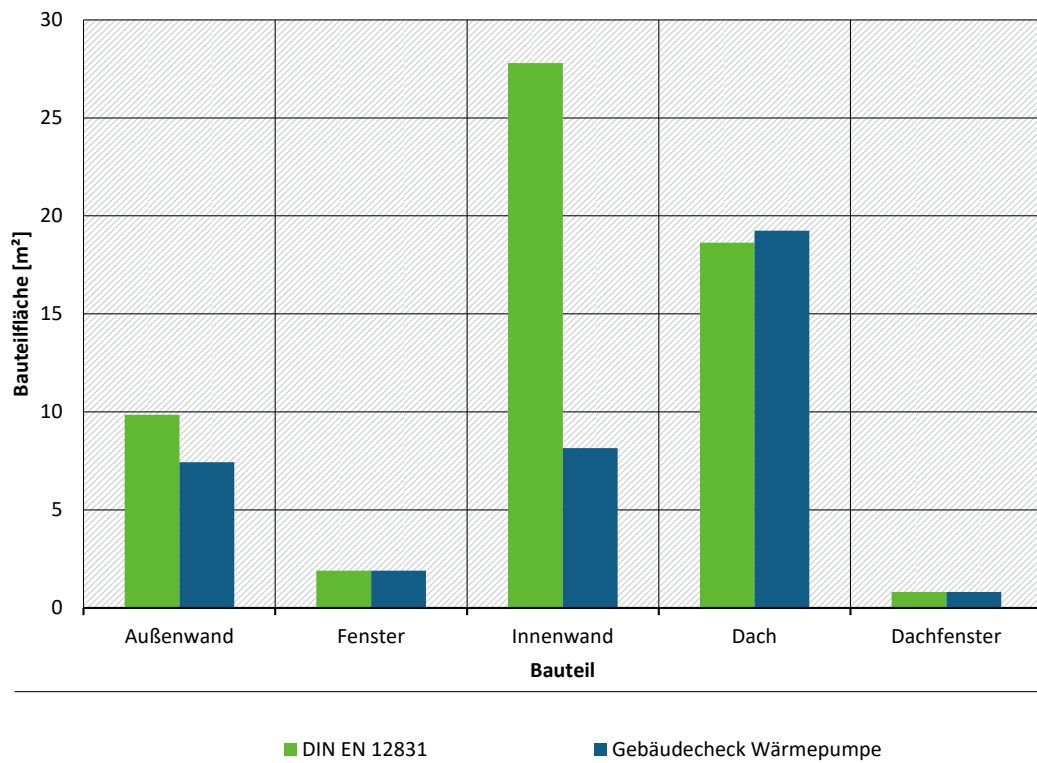
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Übergeordnet ist für den Vergleich ersichtlich, dass die Außenwände mit einem U-Wert von $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in der Norm-Berechnung und $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im Tool die größte Abweichung zeigt. Demgegenüber sind die U-Werte des Dachs mit $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Norm-Berechnung) und $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Tool) geringer. Eine weiterhin große Abweichung liegt bei den Innenwänden mit etwa $2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gegenüber einem initialen Wert von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im Tool vor. Auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Plausibilitätsprüfung wurde der pauschale U-Wert nachträglich auf $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angehoben⁶.

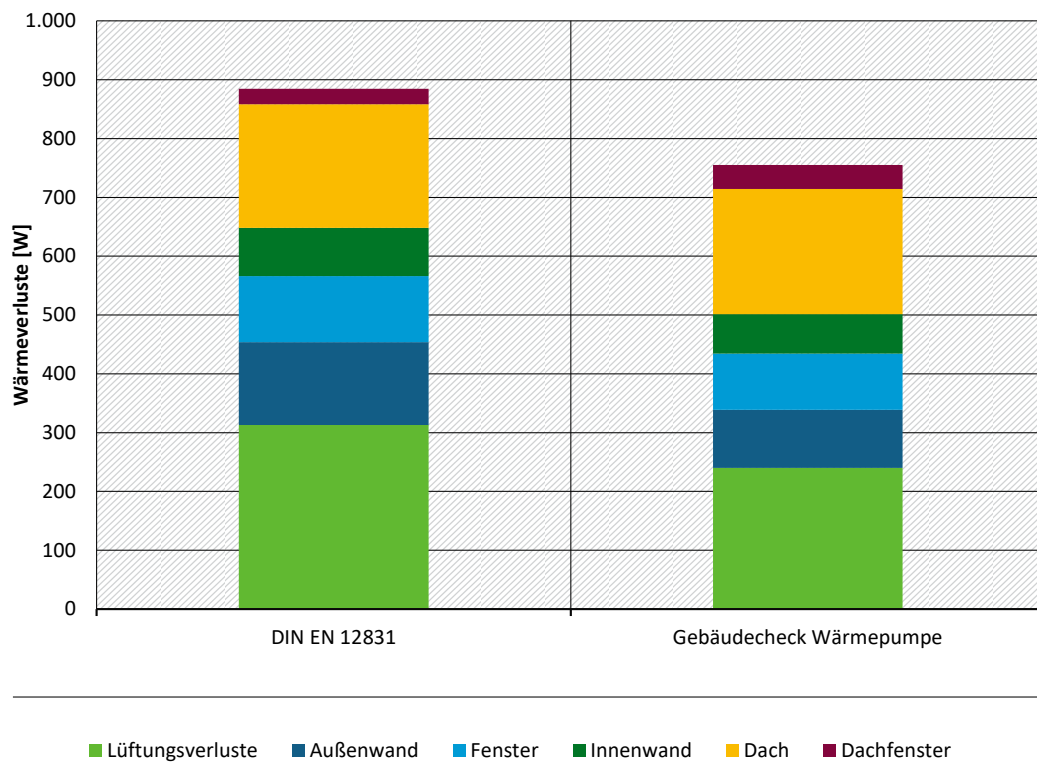
Die Abbildung 42 zeigt die im Tool resultierenden effektiven Flächen (blau) gegenüber den Flächen der Norm-Berechnung (grün) für den Raum 1 des „Gebäude Quergiebel“. Für den Raum 1 resultiert eine leicht geringere Außenwandfläche und eine deutlich zu geringe Innenwandfläche im Tool, da nur der an unbeheiztes Volumen grenzende Teil der Innenwände erfasst wird. Die Fläche von Fenstern und Dach wird mit guter Übereinstimmung erfasst.

Die zugehörige Auswertung der Wärmeverluste in Abbildung 43 zeigt, dass Fenster, Innenwände, Dachfläche, Dachfenster und Fußboden sehr gut abgebildet werden. Die größten Abweichungen liegen bei der Außenwandfläche (aufgrund des aus TABULA resultierenden besseren U-Wertes) sowie den Lüftungswärmeverlusten. Letztere werden im Tool für Dachräume pauschal reduziert. Im vorliegenden Fall hat der Raum jedoch eine vergleichsweise geringe Volumenreduktion aufgrund der Geometrie der Dachflächen. Die gesamte Heizlast wird um 15 % zu gering kalkuliert. Dabei liegen im Tool die summierten Transmissionswärmeverluste 10 % und die Lüftungswärmeverluste 23 % unter den Werten der Norm-Berechnung.

⁶ Unter Annahme einer für Innenwände typischen Wandstärke von 115 mm ausgeführt mit Hochlochziegeln mit einer Dichte von $1400 \text{ kg}/\text{m}^3$ sowie einer beidseitigen Putzschicht von 15 mm.

Abbildung 42 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Raum

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

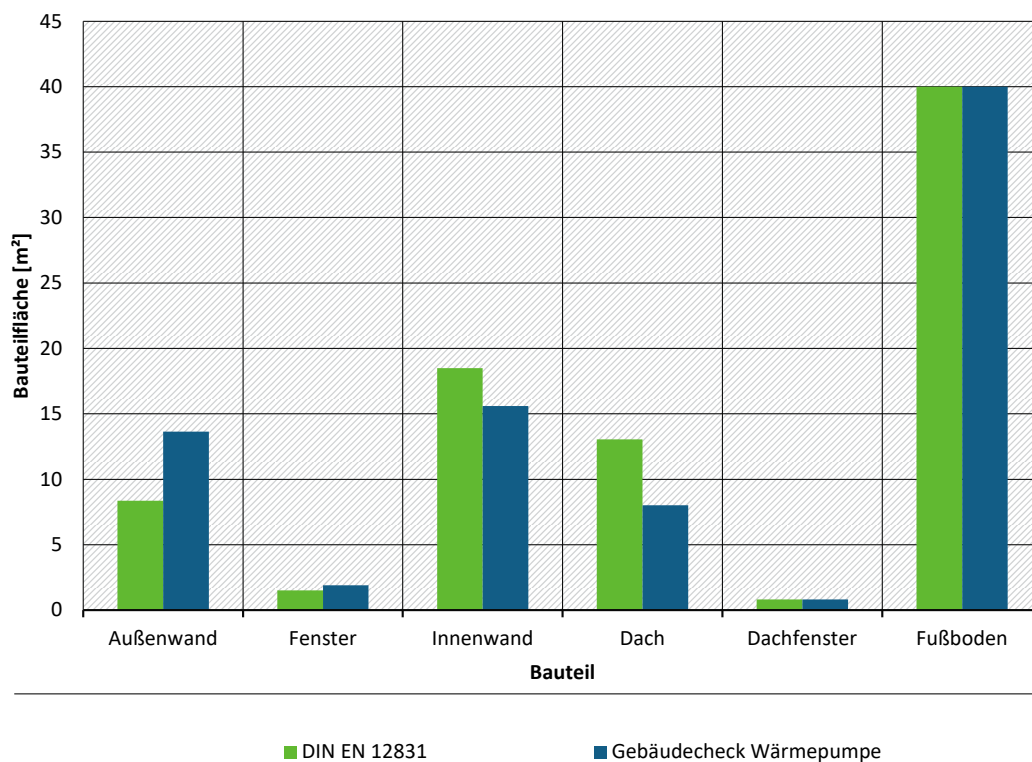
Abbildung 43 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 1

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

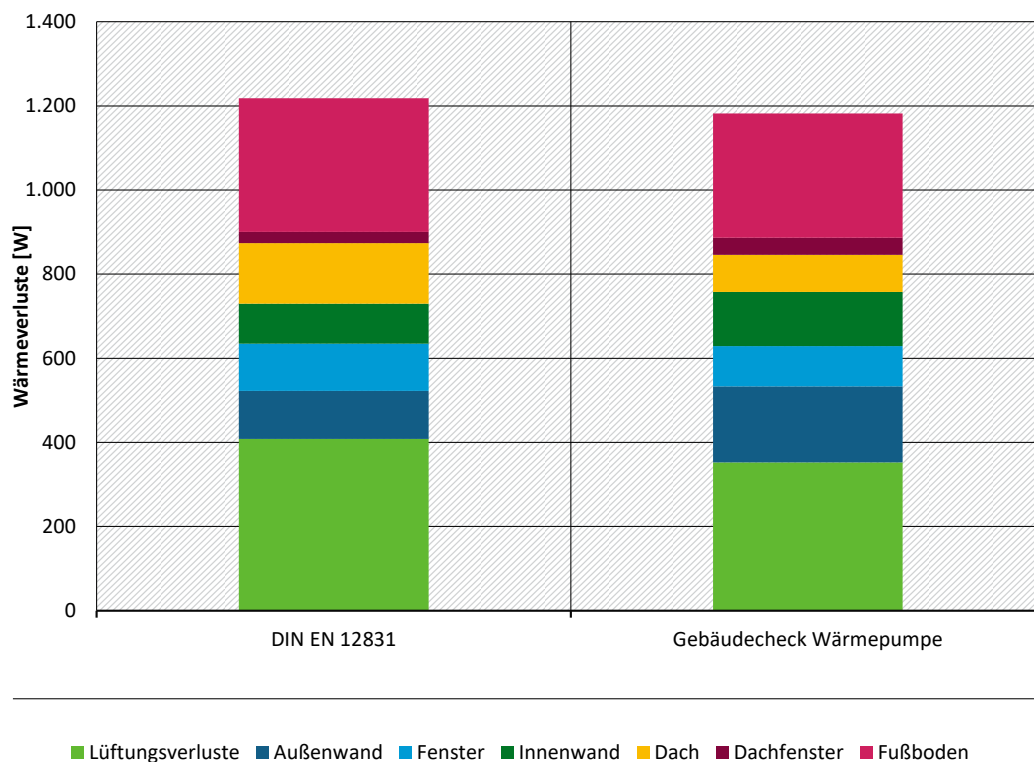
Der Raum 2 weist eine große Dachflächenflanke des Quergiebel auf. Aus den Methoden zur Flächenabschätzung resultiert in diesem Fall unter Angabe eines Raumes ohne Giebelwand anhand der Außenwandlänge eine Überschätzung der Außenwandfläche um etwa 60 %. Die Dachfläche wird aus selbigem Grund um etwa 30 % unterschätzt. Die übrigen Flächen weisen eine gute Übereinstimmung auf (vgl. Abbildung 44).

Die Abbildung 45 zeigt auch die resultierenden Lüftungswärmeverluste. Auch in diesem Raum liegen die Lüftungswärmeverluste geringfügig unter dem Niveau der Norm-Berechnung, werden jedoch gut abgebildet. Die Wärmeverluste durch Innenwände, Fenster und Fußboden werden sehr gut abgebildet. Im vorliegenden Beispiel heben sich die zu gering approximierte Dachfläche und die zu hoch approximierte Außenwandfläche weitestgehend auf, sodass die Gesamtwärmeverluste von Norm-Berechnung und Tool nahezu identisch sind (-3 % Abweichung).

Abbildung 44 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 2



Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

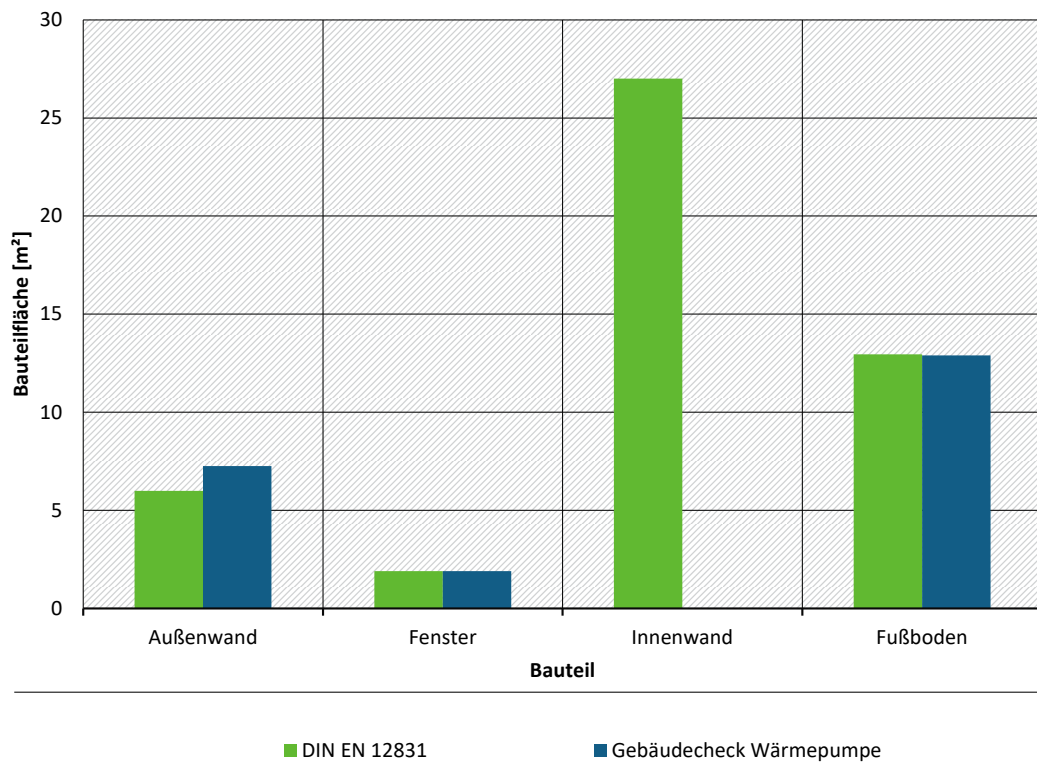
Abbildung 45 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 2

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

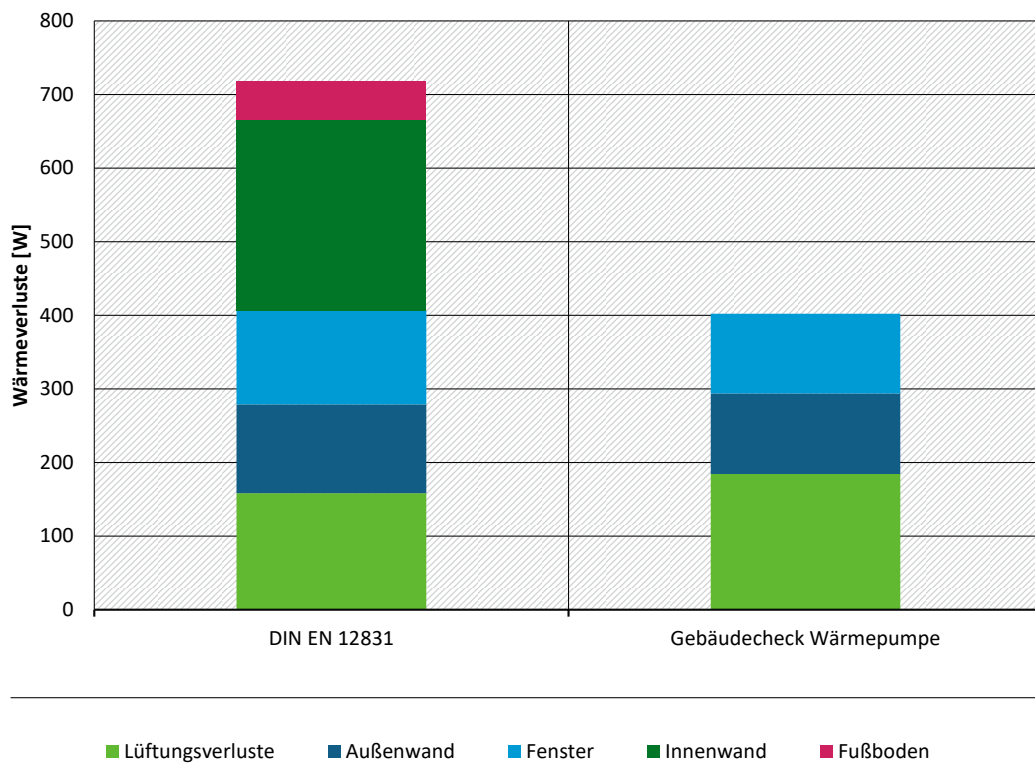
Das in Abbildung 46 dargestellte Badezimmer weist im Tool eine etwa 20 % größere Außenwandfläche als in der Norm-Berechnung auf, was auf Abweichungen hinsichtlich der Errechnung der Bauteilmaße anhand der Bauteilinnenmaße zurückzuführen ist. Während hierfür im Tool ein pauschaler Aufschlag von 0,5 m Wandlänge vorgesehen ist, grenzen an den vorliegenden Raum beidseitig beheizte Zimmer, die jeweils lediglich mit einer 11,5 cm breiten Innenwand abgegrenzt sind. Die vorliegende Innenwandfläche von insgesamt 27 m² wird im Tool aufgrund beheizter Nachbarräume nicht erfasst.

An beheizte Nachbarräume grenzende Innenwände haben gewöhnlich lediglich einen geringen Einfluss auf die Heizlast. Im Fall eines Badezimmers mit einer entsprechenden Norm-Innentemperatur von 24 °C, welches zudem an einen größeren Flur ohne eigene Heizkörper (resultierende Raumtemperatur nach DIN EN 12831 Berechnung von circa 18 °C) grenzt, fallen die Wärmeverluste hingegen deutlich ins Gewicht. Die Abbildung 47 macht dies mit einer Abweichung der durch das Tool berechneten Raumheizlast von -45 % sehr deutlich. Während die Wärmeverluste durch Außenwand und Fenster gut abgebildet und die Lüftungswärmeverluste etwas überschätzt werden, kann das Tool die Wärmeverluste durch die Innenwände (260 W) ebenso wie durch den Fußboden zu angrenzenden, beheizten Räumen (50 W) nicht abbilden.

Es ist hervorzuheben, dass diese Konstellation aus geringen Grenztemperaturen, sehr viel Innenwandfläche und geringer Außenwandfläche nicht der Regelfall ist. Es verdeutlicht jedoch, dass insbesondere bei stark inhomogenen Angaben zur gewünschten Raumtemperatur nennenswerte Abweichungen resultieren können. Da die relative Lage der Räume zueinander ebenso wie die iterative Bilanzierung der Wärmeströme und Temperaturen von unbeheizten Räumen im Tool nicht abgebildet ist, können diese Konstellationen nicht korrekt abgebildet werden.

Abbildung 46 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für das Badezimmer.

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 47 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für das Badezimmer

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

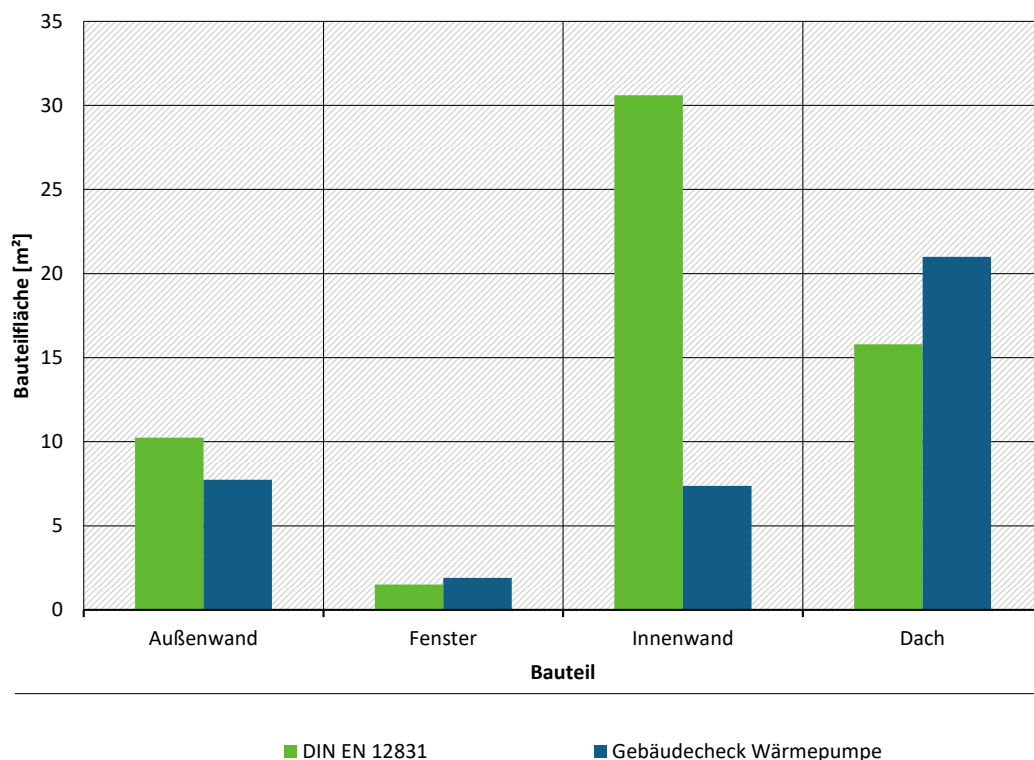
Die Abbildung 48 geht auf die Ergebnisse der Analyse des Raum 3 ein. Die Fläche der Außenwand wird ebenso in diesem Raum geringer geschätzt als der Wert nach Norm-Berechnung (-25 %). Aufgrund der bekannten Limitationen des Tools bei der Erhebung der Innenwandfläche besteht hier eine deutliche Abweichung. Diese schlägt sich jedoch nicht in den Wärmeverlusten (vgl. Abbildung 49) nieder, da der relevante Teil der Innenwand, der gegen unbeheiztes Volumen grenzt, im Tool hinreichend erfasst wird. Die Dachfläche wird in diesem Raum mit dem Tool um etwa 1/3 zu hoch geschätzt.

Die in Abbildung 49 dargestellten Wärmeverluste liegen im Tool insgesamt 13 % unterhalb der Werte der Norm-Berechnung. Diese Abweichung resultiert maßgeblich aus geringeren Lüftungswärmeverlusten (-23 %) sowie zum Teil aus der zu kleinen Außenwandfläche (-30 %). Weiterhin sind im Tool die Transmissionswärmeverluste durch die Fenster und die Innenwände etwas zu gering. Dies ist jedoch nicht auf die berücksichtigten Bauteilflächen, sondern auf höhere U-Werte in der Norm-Berechnung zurückzuführen.

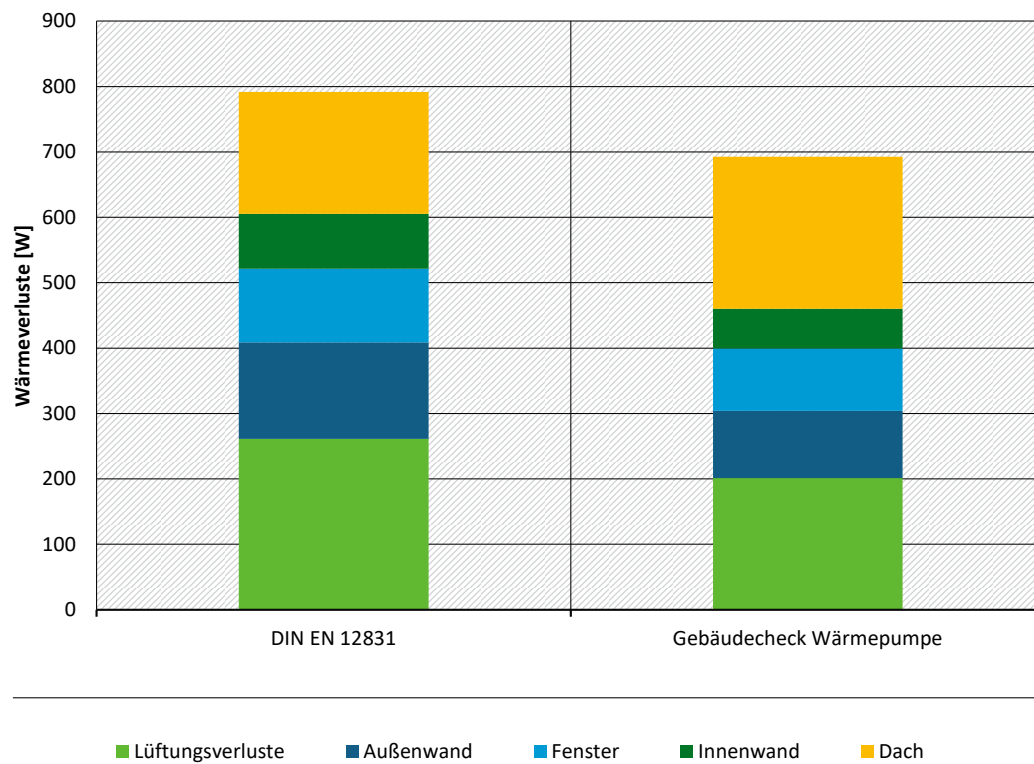
Die Abbildung 50 und Abbildung 51 stellen schließlich die Bauteilflächen und resultierenden Wärmeverluste des Spitzbodens dar. Dachfläche und Außenwandfläche werden geringfügig unterschätzt. Dies schlägt sich bei den Transmissionswärmeverluste aufgrund der im Tool geringeren U-Werte etwas stärker nieder. Die gesamten Wärmeverluste liegen im Tool um 13 % unterhalb der Norm-Berechnung.

Insgesamt zeigt der Gebäudecheck Wärmepumpe für „Gebäude Quergiebel“ eine gute Übereinstimmung mit der Norm-Berechnung. Eine Ausnahme stellt das Badezimmer aufgrund großer, im Tool nicht erfasster Wärmeströme durch die Innenwände dar. Generell werden die Wärmeverluste geringfügig unterschätzt, im Mittel für die erfassten Räume um 15 %. Dies kann insbesondere auf höhere U-Werte von Außenwand, Dach und Fenstern in der Norm-Berechnung sowie zum Teil auf im Tool unterschätzte Bauteilflächen zurückgeführt werden.

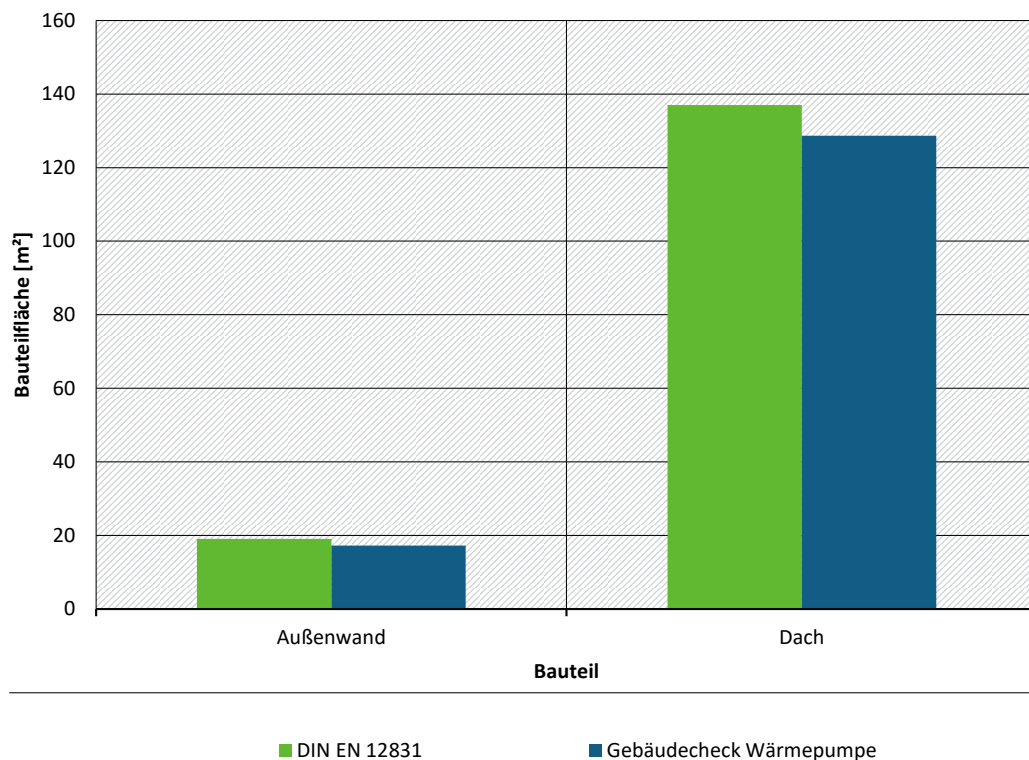
Abbildung 48 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 3



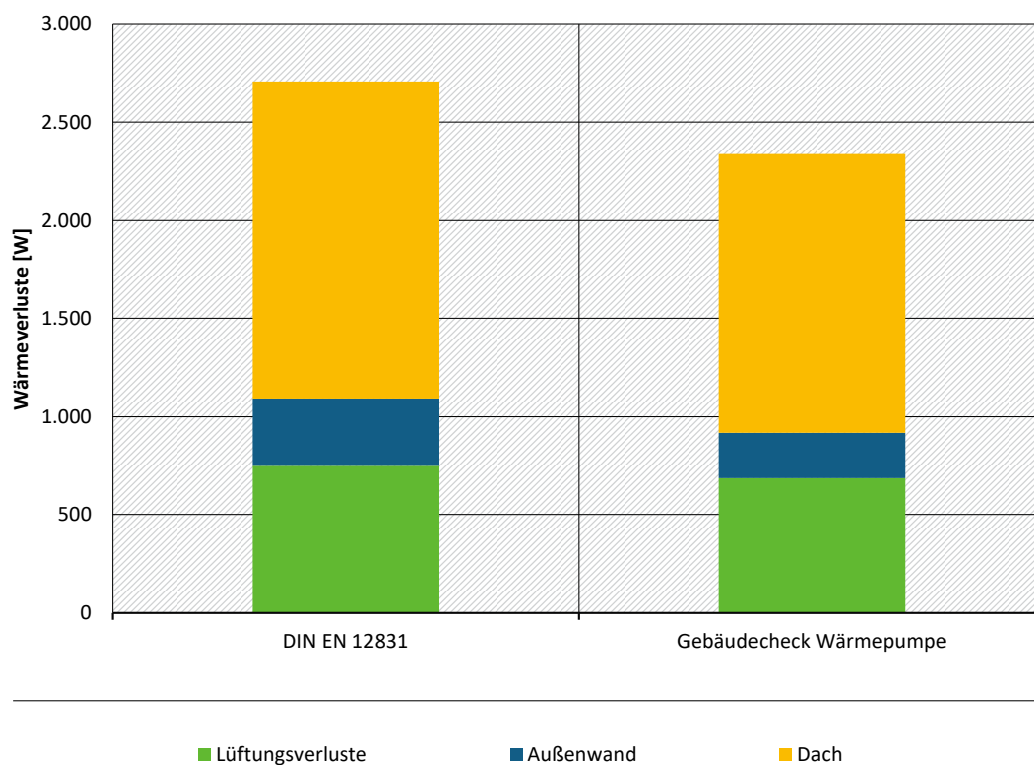
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 49 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Raum 3

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 50 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Quergiebel“ für den Spitzboden

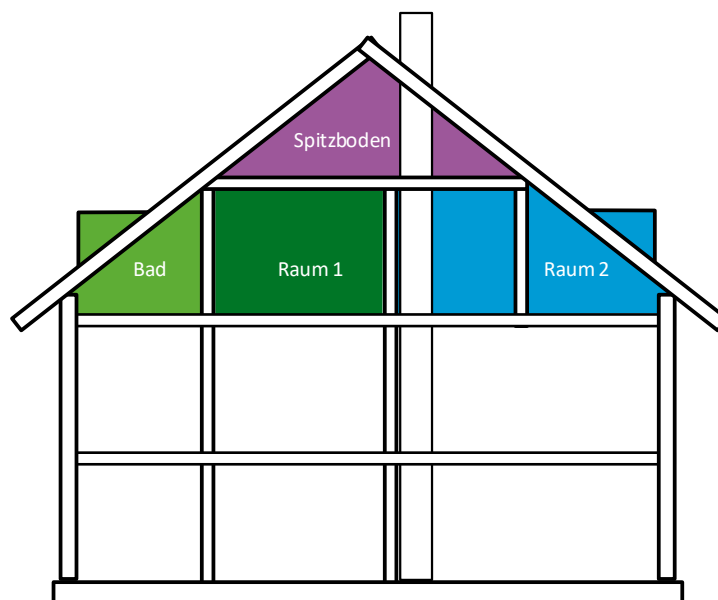
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 51 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Quergiebel“ für den Spitzboden

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

6.2.2 Gebäude Gaube

Die Abbildung 52 zeigt die Grundform des zweiten Beispiels „Gebäude Gaube“ mit Satteldach und einer Gaube auf je einer Dachseite mit einem Badezimmer beziehungsweise Wohnraum (Raum 2) sowie einem Spitzboden ohne Fenster. Weiterhin befindet sich der Raum 1 mittig im Obergeschoss, dieser hat also keine Dachflächen.

Abbildung 52 Querschnitt durch das „Gebäude Gaube“

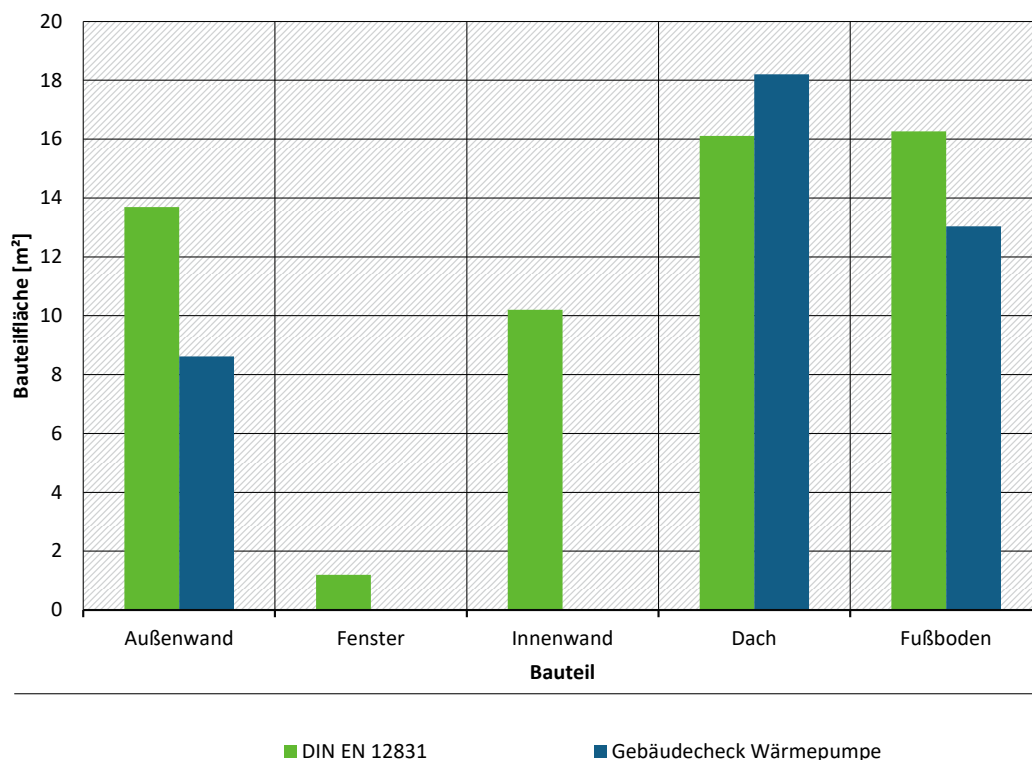
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Analog zur Schilderung des ersten Gebäudes werden nachfolgend die Ergebnisse eines Vergleichs der Norm-Berechnung des „Gebäudes Gaube“ dargestellt. Die zugehörigen Daten werden in der Tabelle 25 für die Wärmeverluste, Tabelle 26 für die Bauteilflächen und Tabelle 27 für die angesetzten U-Werte im Anhang A.2 dokumentiert. Übergeordnet ist ersichtlich, dass gegenüber „Gebäude Quergiebel“ die U-Werte wesentlich besser übereinstimmen. Diese stimmen für Außenwand- und Dachfläche vollständig überein. Eine geringe Abweichung besteht für die Fenster (1,9 W/(m²K) in der Norm-Berechnung und 1,6 W/(m²K) im Tool), den Fußboden (0,6 W/(m²K) und 0,5 W/(m²K) im Tool) und für die Innenwände (1,7 W/(m²K) gegenüber 1,0 W/(m²K) im Tool). Auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Plausibilitätsprüfung wurde der pauschale U-Wert nachträglich auf 2,0 W/(m²K) angehoben.

Die Abbildung 53 zeigt die im Tool resultierenden effektiven Flächen gegenüber den Flächen der Norm-Berechnung für den Raum Badezimmer. Es ist ersichtlich, dass die Fläche der Außenwand eine Abweichung von etwas über 1/3 der Norm-Fläche aufweist, während die Dachfläche eine sehr gute Übereinstimmung zeigt. Aufgrund der pauschalen Berücksichtigung von Gauben in den Wärmeverlusten des Dachs, wird das zugehörige Fenster ebenso wie die vertikalen Bauteilflächen der Gaube nicht separat erfasst. Dies kann die Abweichungen in der Außenwandfläche zum Teil erklären. Darüber hinaus scheint jedoch anhand des Gebäudeschnitts die Norm-Erfassung der Außenwand recht „großzügig“ gerechnet.

Die Fußbodenfläche im Tool wurde mit den aus dem Grundriss ersichtlichen Maßen des Raumes angegeben, liegt aber dennoch etwas unterhalb der Grundfläche der Norm-Berechnung. Eine Fläche der Innenwände wird im Tool nicht erhoben, da diese nicht gegen Räume mit unter 15 °C grenzen.

Abbildung 53 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Raum Badezimmer.

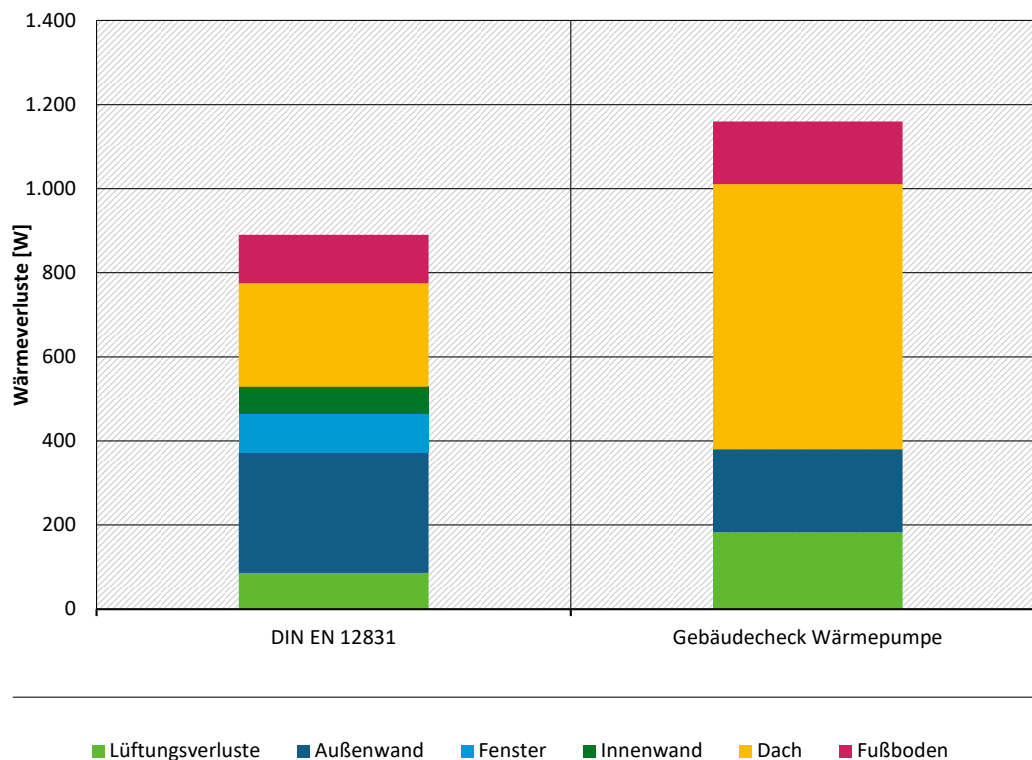


Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Die zugehörige Abbildung 54 stellt die Wärmeverluste nach Norm-Berechnung (links) sowie aus dem Gebäudecheck Wärmepumpe (rechts) dar. Dabei wird zwischen den erfassten Bauteilen differenziert. Es ist ersichtlich, dass die berechneten Lüftungsverluste deutlich überschätzt werden. Dies kann auf Unterschiede in dem berechneten Raumvolumen zurückgeführt werden, wobei das im Tool berechnete Volumen bei geometrischer Überprüfung anhand von Giebelwand und Raumbreite gut mit dem realen Raum übereinstimmt.

Die Wärmeverluste durch die Außenwand werden unterschätzt, während die Verluste durch das Dach im Tool deutlich höhere Werte aufweisen. Da die Flächen identisch und auch die U-Werte eine vergleichbare Größenordnung haben, liegt dies insbesondere an den U-Wert abhängig angesetzten Verlustbeiträgen der Gaube (vgl. Kapitel 3.4.5). Im vorliegenden Beispiel einer kleinen Gaube führen diese zu einer Überschätzung der Verluste. Zugleich beinhalten die Dachverluste jedoch die in der Norm-Berechnung bestimmten Verluste durch das Fenster sowie einen Teil der Außenwand-Verluste, welche in der Norm-Berechnung der Gaube zugeordnet werden. Im Zusammenspiel aller erhobenen Daten resultiert eine Überschätzung der Heizlast durch das Tool um 29 %. Diese wird von den Überschätzungen der Wärmeverluste der Gaube dominiert.

Abbildung 54 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Raum Badezimmer.



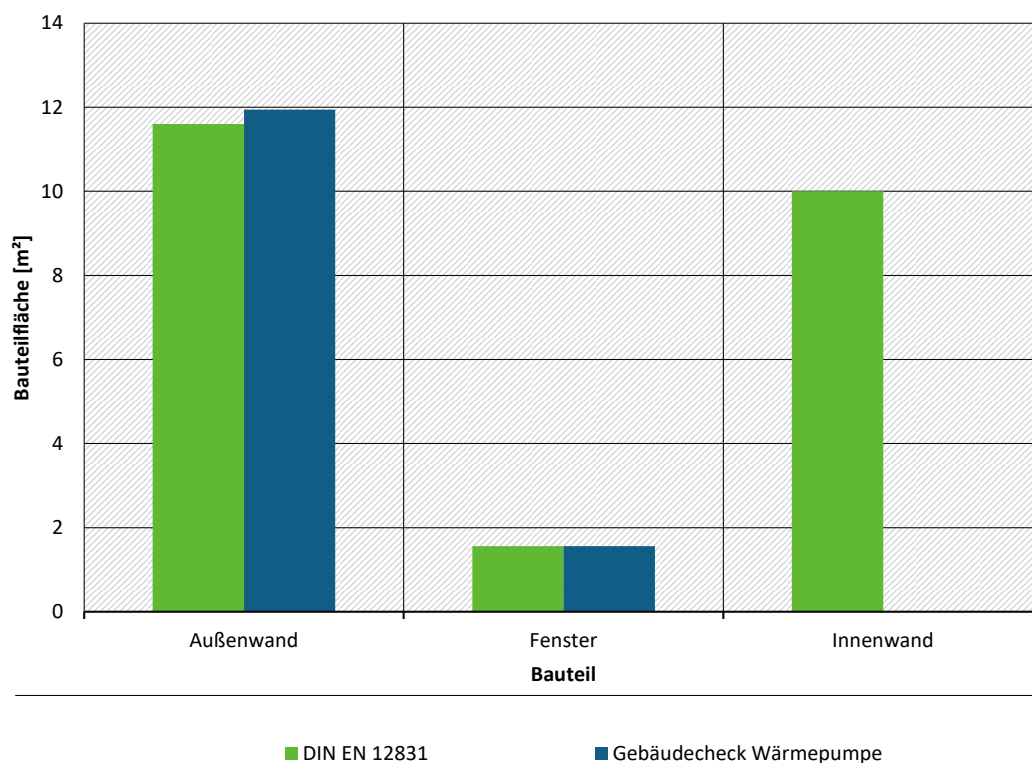
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Analog zu den vorherigen Abbildungen zeigen Abbildung 55 und Abbildung 56 die Bauteilflächen und Wärmeverluste des Raum 1 im „Gebäude Gaube“. Dieser Raum hat keine Dachschrägen und entsprechend eine einfache Flächenerfassung mit hoher Übereinstimmung. Die Übereinstimmung der bloßen Wärmeverluste ist mit lediglich 5 % Abweichung sehr gut. Werden jedoch die Wärmegewinne durch die Innenwand zum Badezimmer berücksichtigt, liegt die Abweichung bei 17 %. Dies verdeutlicht, dass die Relevanz der Innenwände von den jeweils angrenzenden Temperaturen abhängt.

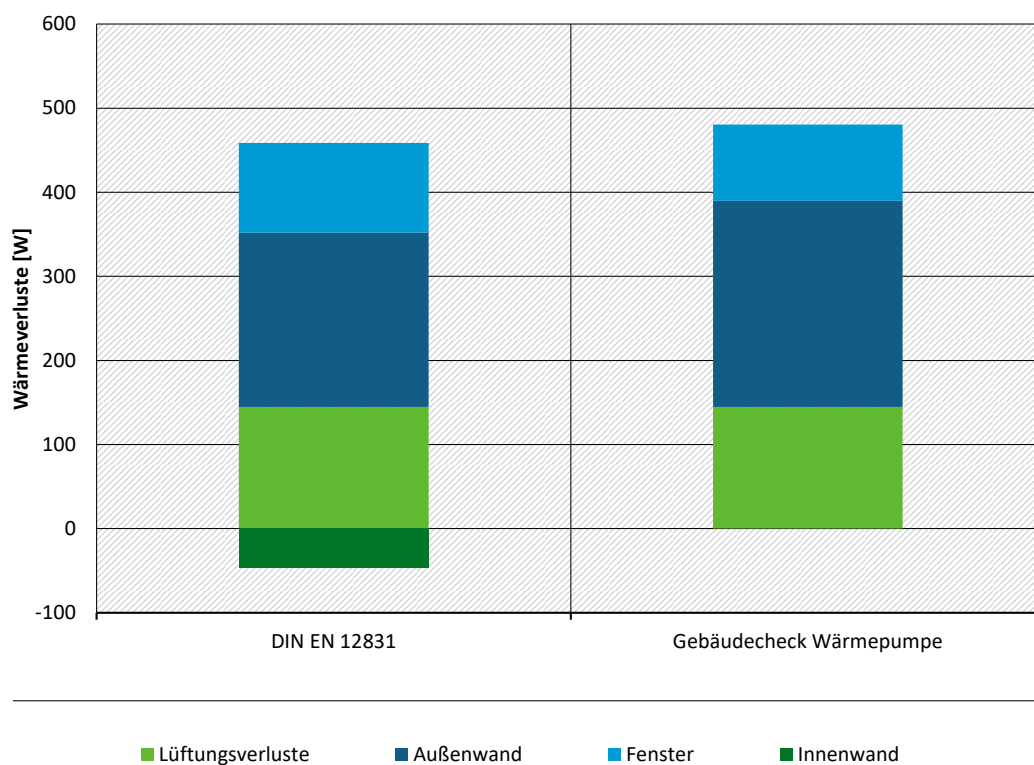
In der Abbildung 57 und Abbildung 58 wird analog zu den obigen Abbildungen der Raum 2 des „Gebäude Gaube“ dargestellt. Dieser liegt symmetrisch auf der gegenüberliegenden Seite des Badezimmers, hat jedoch eine größere Grundfläche sowie ein zusätzliches Fenster. Analog zum Badezimmer wird die gesamte Außenwandfläche im Tool unterschätzt, wobei die Außenwandfläche der Norm-Berechnung die vertikalen Flächen der Gaube berücksichtigt. Gleiches gilt für die Fensterfläche, da im Tool das in der Gaube befindliche Fenster pauschal mit den Wärmeverlusten des Dachs berücksichtigt wird. Die Dachfläche zeigt eine hohe Übereinstimmung.

Die resultierenden Wärmeverluste in Abbildung 58 zeigen, dass vergleichbar mit dem Raum Badezimmer im Gebäudecheck Wärmepumpe unter den Verlusten der Dachflächen durch Inkludierung der Gauben ein Teil der Wärmeverluste von Fenstern und Außenwand subsummiert wird. Auch hier liegt jedoch eine deutliche Überschätzung vor. Dahingegen werden die Lüftungsverluste in diesem Raum sehr gut abgebildet, da keine Differenzen hinsichtlich Raumgeometrie und -volumen vorliegen. Die Gesamtabweichung liegt wie im Badezimmer bei +30 %.

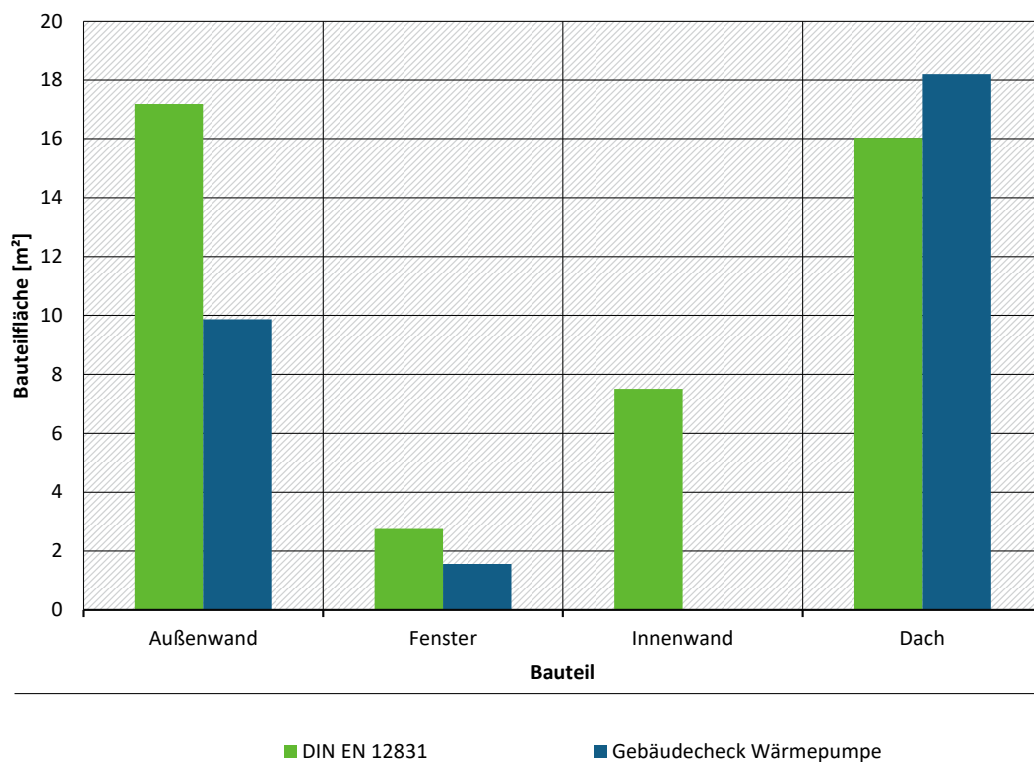
Abbildung 55 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Raum 1.



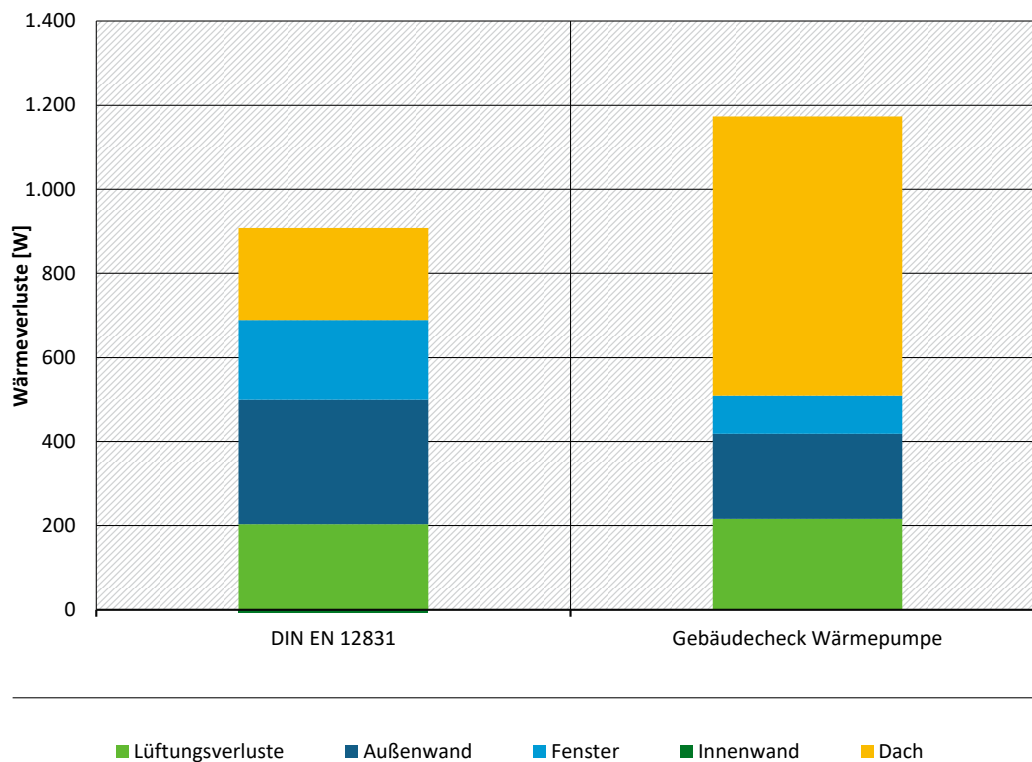
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 56 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Raum 1.

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 57 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Raum 2.

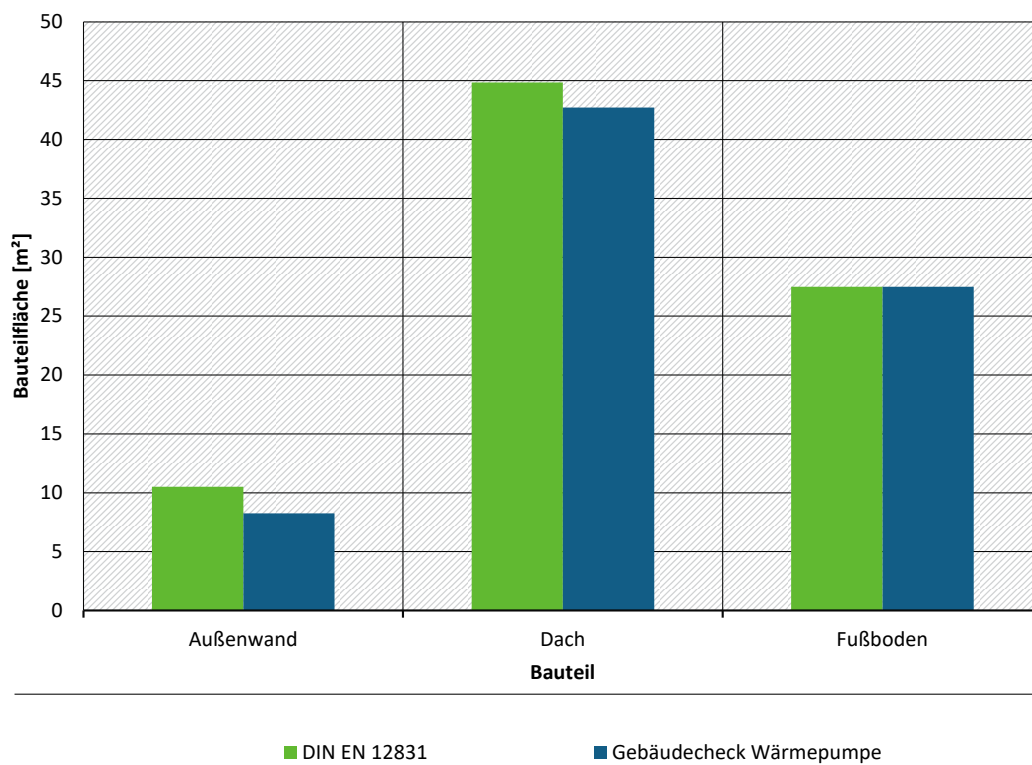
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 58 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Raum 2.

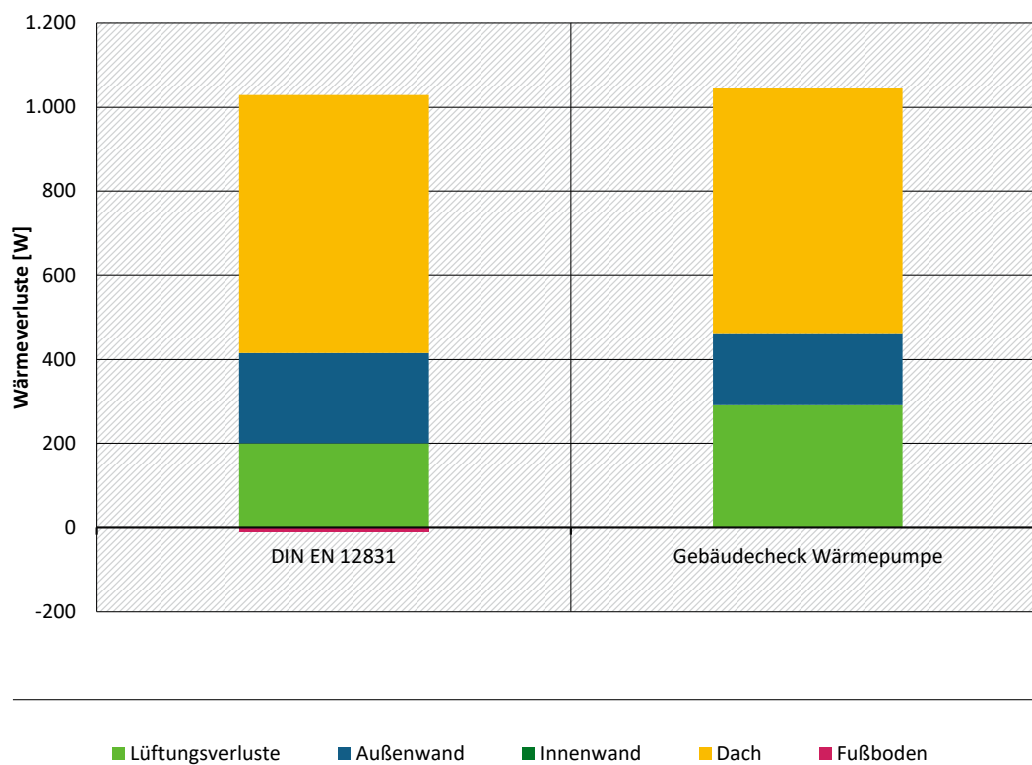
Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Schließlich stellen die Abbildung 59 und Abbildung 60 entsprechende Analysen für den Spitzboden des „Gebäude Gaube“ dar. Bei der in diesem Raum vorliegenden einfachen Satteldach-Geometrie werden Dachfläche und Außenwandfläche mit nur geringfügiger Unterschätzung gut erfasst. In Abbildung 60 zeigt sich, dass die Wärmeverluste durch die Dachfläche ohne vorhandene Gauben durch das Tool sehr gut wiedergegeben werden (Abweichung +3 %).

Insgesamt ist für das „Gebäude Giebel“ eine systematische Überschätzung der Wärmeverluste um +20 % für alle Räume ersichtlich. Dies kann in diesem Fall maßgeblich auf die Abschätzung der Wärmeverluste von Dachräumen mit Gaube zurückgeführt werden, da der angesetzte U-Wert-abhängige Pauschalfaktor in diesem Fall einer verhältnismäßig kleinen Gaube für das vorliegende Gebäude zu hoch liegt. In Räumen ohne Gaube werden die Wärmeverluste hingegen gut abgebildet.

Abbildung 59 Vergleich der Bauteilflächen „Gebäude Gaube“ für den Spitzboden.

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

Abbildung 60 Vergleich der Wärmeverluste „Gebäude Gaube“ für den Spitzboden.

Quelle: Eigene Darstellung (ifeu)

7 Ausblick

Bei einer **zukünftigen Weiterentwicklung des Tools „Gebäudecheck Wärmepumpe“**, könnte neben einer Optimierung der Approximation von Dachräumen auf Basis weniger Eingabegrößen eine optionale Detaillierung von Innenwänden und den angrenzenden Temperaturen vorgesehen werden. Darüber hinaus wäre es für Nutzer*innen mit effizienteren Gebäuden interessant, die Prüfung der Bilanz von Heizlast und Heizkörperleistung nicht auf den NT-ready Grenzwert von 55 °C zu beschränken, sondern darüber hinaus Informationen zur erforderlichen nominalen Vorlauftemperatur für eine Heizlastdeckung von 100 % bereitzustellen. Aufgrund der hierfür erforderlichen iterativen Berechnungsweise wurde eine solche Funktion nicht implementiert. Weiterhin könnte hinsichtlich der Weiterverarbeitung der Ergebnisse und zur Stärkung der Schnittstelle zu den auf die Vorplanung folgenden Gewerken, ein umfangreicherer Export auch von Daten der Hintergrundberechnungen, wie den für das Gebäude zugrunde gelegten U-Werten, vorgesehen werden. Aufgrund der Open-Source-Lizenzierung des Tools wird eine Nutzung und Weiterentwicklung des Tools auch durch dritte ermöglicht.

Zusammenfassend bietet der Gebäudecheck Wärmepumpe motivierten Gebäudeeigentümer*innen die Möglichkeit, ohne fachliches Vorwissen eine erste Abschätzung der raumweisen Heizlastberechnung und Heizkörperauslegung vorzunehmen. Durch explizite Angaben hinsichtlich des Potenzials eines Heizkörperaustauschs sowie der Rolle von darüber hinaus gehenden Maßnahmen an der Gebäudehülle, bietet der Gebäudecheck Wärmepumpe ein vollumfängliche Vorplanungsberatung, bei der das **Gebäude und dessen individuellen Eigenschaften im Fokus** stehen.

Anhang

A.1 Dynamische Empfehlungstexte

A.1.1 Empfehlungstexte Raumebene

Tabelle 5 Empfehlungstexte Raumebene - Bewertung der Wärmepumpeneignung

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	$f_{HK,ist} < 40 \% \text{ UND } f_{HK,neu} < 100 \%$
1 Text	Aktuell nicht niedertemperaturfähig: Viel höhere Vorlauftemperatur als 55 °C führt zu geringer Effizienz. In diesem Zustand kann der Raum nur sehr ineffizient mit einer Wärmepumpe beheizt werden – der Stromverbrauch wäre sehr hoch, dies bedeutet hohe Stromkosten für Sie. Mit einer niedrigen Vorlauftemperatur können Sie Strom und Stromkosten sparen. Denn je niedriger die benötigte Vorlauftemperatur, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Am einfachsten geht das mit einem leistungsfähigeren Heizkörper. Darüber hinaus kann auch besserer Wärmeschutz helfen.
2 Ausgabelogik	$40 \% \leq f_{HK,ist} < 70 \% \text{ UND } f_{HK,neu} < 100 \%$
2 Text	Es fehlt noch ein Stück, die Vorlauftemperatur ist höher als 55 °C. Die Wärmepumpe müsste das Heizungswasser stark erwärmen – dadurch würden Sie viel Strom verbrauchen und Ihre Stromkosten wären erhöht. Sie können Strom sparen, indem Sie die Vorlauftemperatur senken. Denn je niedriger die benötigte Vorlauftemperatur, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe und desto weniger Strom benötigt sie. Am einfachsten geht das mit einem leistungsfähigeren Heizkörper. Darüber hinaus kann auch besserer Wärmeschutz helfen.
3 Ausgabelogik	$70 \% \leq f_{HK,ist} < 100 \% \text{ ODER } f_{HK,neu} \geq 100 \%$
3 Text	Fast niedertemperaturfähig: Etwas höhere Vorlauftemperatur als 55 °C, fast geschafft! Dieser Raum ist beinahe bereit für den effizienten Betrieb mit einer Wärmepumpe – die Vorlauftemperatur ist nur leicht erhöht. Je nachdem, wie warm Sie es haben möchten oder den Raum nutzen, können Sie diesen Raum möglicherweise schon jetzt effizient mit einer Wärmepumpe beheizen. Eine leicht reduzierte Raumtemperatur - schon ein Grad weniger - kann den Unterschied machen. Nach dem ersten Winter wissen Sie, ob der vorhandene Heizkörper Ihren Bedürfnissen genügt. Entscheiden Sie danach über den empfohlenen Heizkörpertausch. Je niedriger die benötigte Vorlauftemperatur, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Am einfachsten geht das mit einem leistungsfähigeren Heizkörper. Darüber hinaus kann auch besserer Wärmeschutz helfen.
4 Ausgabelogik	$f_{HK,ist} \geq 100 \%$
4 Text	Niedertemperaturfähig: Gute Voraussetzungen, eine Wärmepumpe ist möglich! Diesen Raum können Sie effizient mit einer Wärmepumpe beheizen – die gewünschte Raumtemperatur wird bereits mit ausreichend geringer Vorlauftemperatur erreicht.

Thema	Inhalt
	Je niedriger die benötigte Vorlauftemperatur, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Dafür ist die Leistungsfähigkeit der Heizkörper (1) und der Wärmeschutz (2) entscheidend.

Tabelle 6 Empfehlungstexte Raumebene - Bewertung Potenzial Heizkörpertausch

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	$f_{HK,neu} < 50 \%$
1 Text	Hier reicht der Heizkörper nicht aus. Damit eine Wärmepumpe den Raum effizient beheizen kann, wäre ein mindestens doppelt so großer Heizkörper der effektivsten Bauart (Typ 33) oder ein zusätzlicher Heizkörper notwendig. Eine bessere Dämmung der Bauteile kann helfen, den Wärmebedarf zu senken. Dann muss die Heizkörperfläche nicht so viel größer werden. 💡 Hinweis: Ein Heizkörper mit integriertem Gebläse kann dabei helfen, dass der neue Heizkörper nicht so groß werden muss. Diese Heizkörper-Modelle brauchen einen zusätzlichen Stromanschluss für die Gebläse.
2 Ausgabelogik	$f_{HK,neu} < 100 \%$
2 Text	Deutlich zu geringe Leistung Ein Tausch bringt viel. Ein neuer Heizkörper mit [deutlich mehr] Leistung kann die Wärmepumpe in diesem Raum deutlich effizienter machen. Dafür müsste der Heizkörper größer sein, um genug Wärme in den Raum zu bringen. 💡 Hinweis: Ein gleich großer Gebläse-Heizkörper in der leistungsstärksten Ausführung (Typ 33) kann vermutlich ausreichen, um die Heizlast zu decken. Für diese Heizkörper-Modelle ist ein zusätzlicher Stromanschluss für die Gebläse erforderlich.
3 Ausgabelogik	$f_{HK,neu} \geq 100 \%$ UND $f_{HK,ist} < 100 \%$
3 Text	Etwas zu geringe Leistung Mit dem richtigen Typ klappt's. Ein Heizkörpertausch kann hier viel bewirken – ein Modell mit [spürbar] mehr Leistung reicht aus. Voraussichtlich genügt es, bei gleicher Größe auf einen leistungsstärkeren Typ umzusteigen.
4 Ausgabelogik	$f_{HK,ist} \geq 100 \%$
4 Text	Ausreichende Heizkörperleistung Gut ausgestattet! Der Heizkörper hat genügend Fläche. Die Wärmepumpe kann den Raum mit geringer Vorlauftemperatur angenehm und effizient erwärmen.

Tabelle 7 Empfehlungstexte Raumebene – Bewertung der Gebäudehülle

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	$\varphi_{Raum} > 90 \text{ W/m}^2$ [Maßnahme]: Bauteile mit U-Wert $> 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (bzw. $> 2,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ für Fenster) UND mehr als 20 % Anteil an der Raumheizlast
1 Text	Sehr hohe Wärmeverluste Jetzt ist Optimierung gefragt. Die Heizlast ist sehr hoch. Wenn die Heizflächen groß genug sind, können Sie den Raum trotzdem effizient mit einer Wärmepumpe beheizen. Darüber hinaus empfiehlt sich eine energetische Verbesserung der Gebäudehülle – insbesondere durch [Maßnahme], dies reduziert den Strombedarf und senkt die sonst höheren Stromkosten. Zusätzlich verbessert es die allgemeine Effizienz und senkt den Energieverbrauch Ihrer Heizung.
2 Ausgabelogik	$70 \text{ W/m}^2 < \varphi_{Raum} \leq 90 \text{ W/m}^2$ [Bauteil]: Bauteil mit U-Wert $> 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (bzw. $> 2,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ für Fenster) UND höchstem Anteil an der Raumheizlast
2 Text	Verbesserungsbedarf Da geht noch was. Die Heizlast ist überdurchschnittlich hoch. Vor allem über die [Bauteil] geht viel Wärme verloren – eine Verbesserung des Wärmeschutzes senkt den Energieverbrauch Ihrer Heizung und steigert die Effizienz einer Wärmepumpe. Dadurch reduzieren Sie die Stromkosten für die Wärmepumpe.
3 Ausgabelogik	$50 \text{ W/m}^2 < \varphi_{Raum} \leq 70 \text{ W/m}^2$ [Bauteil]: Bauteil mit U-Wert $> 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (bzw. $> 2,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ für Fenster) UND höchstem Anteil an der Raumheizlast
3 Text	Moderate Wärmeverluste Gute Basis – noch optimierbar. Die Heizlast liegt im Mittelfeld. Eine Dämmung der [Bauteil] bietet hier das größte Potenzial, um Energie zu sparen und den Wärmepumpenbetrieb noch effizienter zu gestalten. T
4 Ausgabelogik	$\varphi_{Raum} \leq 50 \text{ W/m}^2$
4 Text	Alles im grünen Bereich Stark gemacht! Die Heizlast in diesem Raum ist bereits sehr niedrig – eine Wärmepumpe kann den Raum effizient beheizen und der Energieverbrauch ist gering. Zusätzliche Maßnahmen wie Dämmung oder neue Fenster bringen nur noch geringe Verbesserungen.

A.1.2 Empfehlungstexte Gebäudeebene

Tabelle 8 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung der Wärmepumpeneignung

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mehr als 50 % der Räume $f_{HK,ist} < 40 \%$

Thema	Inhalt
	ODER mehr als 75 % der Räume $f_{HK,ist} < 70 \%$
1 Text	Derzeit noch nicht niedertemperaturfähig – Maßnahmen erforderlich Noch nicht bereit zum effizienten und günstigen Heizen mit einer Wärmepumpe. In einem gut auf eine Wärmepumpe vorbereiten Haus sollte eine Vorlauftemperatur von 55 °C ausreichen, damit Sie sich auch an kalten Wintertagen wohlfühlen. Ihr Haus braucht aktuell jedoch deutlich höhere Temperaturen, um warm zu bleiben. In den meisten überprüften Räumen sind entweder die Heizkörper oder die Gebäudehülle noch nicht gut geeignet. Ohne Verbesserungen würde eine Wärmepumpe nicht effizient und wirtschaftlich laufen. Schon der Tausch eines Heizkörpers kann oft ausreichen, um die Vorlauftemperatur deutlich zu senken. Ein Blick in die Grafik zeigt, ob das bei Ihrem Gebäude ausreicht, um effizient mit einer Wärmepumpe zu heizen. Am Markt sind immer mehr Wärmepumpen verfügbar, die höhere Temperaturen als 55 °C effizienter bereitstellen können. Solche Geräte können auch eine Lösung darstellen, wenn es nicht gelingt, die Heizlast zu senken. Höhere Heizkreistemperaturen führen jedoch aufgrund der geringeren Effizienz zu höheren Stromkosten. Wenn Sie in Zukunft größere Modernisierungen der Gebäudehülle planen, kann in der Zwischenzeit auch eine Hybrid-Wärmepumpe eine passende Lösung für Sie sein.
2 Ausgabelogik	Mehr als ein Raum $f_{HK,ist} < 70 \%$ ODER mehr als 75 % der Räume $f_{HK,ist} < 100 \%$
2 Text	Teilweise niedertemperaturfähig – Maßnahmen erforderlich Gute Basis – mit Potenzial In einem gut auf eine Wärmepumpe vorbereiten Haus sollte eine Vorlauftemperatur von 55 °C ausreichen, damit Sie sich auch an kalten Wintertagen wohlfühlen. Manche der erfassten Räume lassen sich bereits mit niedrigen Vorlauftemperaturen erwärmen. Einige Räume brauchen jedoch eine höhere Vorlauftemperatur. Mit einfachen, gezielten Maßnahmen kann die Vorlauftemperatur ausreichend reduziert und das Gebäude effizient und wirtschaftlich mit einer Wärmepumpe beheizt werden. Schon der Tausch eines Heizkörpers kann oft ausreichen, um die Vorlauftemperatur deutlich zu senken. Ein Blick in die Grafik zeigt, ob das bei Ihrem Gebäude klappt. Am Markt sind immer mehr Wärmepumpen verfügbar, die höhere Temperaturen als 55 °C effizienter bereitstellen können. Solche Geräte können auch eine Lösung darstellen, wenn es nicht gelingt, die Heizlast zu senken. Höhere Heizkreistemperaturen führen jedoch aufgrund der geringeren Effizienz zu höheren Stromkosten.
3 Ausgabelogik	Mindestens ein Raum $f_{HK,ist} < 100 \%$
3 Text	Fast niedertemperaturfähig – Maßnahmen empfehlenswert Gute Basis – mit Potenzial In einem gut auf eine Wärmepumpe vorbereiten Haus sollte eine Vorlauftemperatur von 55 °C ausreichen, damit Sie sich auch an kalten Wintertagen wohlfühlen. Ihr Haus braucht aktuell jedoch deutlich höhere Temperaturen, um warm zu bleiben. Viele der erfassten Räume lassen sich bereits mit niedrigen Vorlauftemperaturen effizient erwärmen. Ein Praxiseck im ersten Winter kann Klarheit bringen, ob in den anderen Räumen kleine gezielte Maßnahmen sinnvoll sind, damit sich das gesamte Gebäude noch effizienter und wirtschaftlicher mit einer Wärmepumpe beheizen lässt.
4 Ausgabelogik	Alle Räume $f_{HK,ist} \geq 100 \%$
4 Text	Alles im grünen Bereich Niedertemperaturfähig – gute Voraussetzungen Bereit für die Wärmepumpe!

Thema	Inhalt
	Alle erfassten Räume werden auch an kalten Wintertagen bei maximal 55°C Vorlauftemperatur angenehm warm. Ihr Haus ist damit gut vorbereitet für effizientes und wirtschaftliches Heizen mit einer Wärmepumpe – ohne zusätzliche Maßnahmen. (Für alle Räume Deckungsgrad > 100 %)

Tabelle 9 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Raumübersicht

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik Gebäudehülle	$\varphi_{Raum} > 90 \text{ W/m}^2$ [Maßnahme]: Bauteile mit U-Wert > 0,8 W/(m²K) (bzw. > 2,7 W/(m²K) für Fenster) UND mehr als 20 % Anteil an der Raumheizlast
1 Text Gebäudehülle	Sehr hohe Wärmeverluste – hoher Energieverbrauch Die Heizlast ist sehr hoch. Über die [Außenwand] geht in diesem Raum die meiste Wärme verloren.
2 Ausgabelogik Gebäudehülle	$70 \text{ W/m}^2 < \varphi_{Raum} \leq 90 \text{ W/m}^2$ [Bauteil]: Bauteil mit U-Wert > 0,8 W/(m²K) (bzw. > 2,7 W/(m²K) für Fenster) UND höchstem Anteil an der Raumheizlast
2 Text Gebäudehülle	Verbesserungsbedarf, da geht noch was Die Heizlast ist überdurchschnittlich hoch. Über die [Außenwand] geht in diesem Raum die meiste Wärme verloren.
3 Ausgabelogik Gebäudehülle	$50 \text{ W/m}^2 < \varphi_{Raum} \leq 70 \text{ W/m}^2$ [Bauteil]: Bauteil mit U-Wert > 0,8 W/(m²K) (bzw. > 2,7 W/(m²K) für Fenster) UND höchstem Anteil an der Raumheizlast
3 Text Gebäudehülle	Gut geeignet, mit Potenzial Die Heizlast ist durchschnittlich. Über die [Außenwand] geht in diesem Raum die meiste Wärme verloren.
4 Ausgabelogik Gebäudehülle	$\varphi_{Raum} \leq 50 \text{ W/m}^2$
4 Text Gebäudehülle	Die Heizlast ist bereits sehr niedrig Ein besserer Wärmeschutz bringt in diesem Raum nur noch geringe Verbesserung.
1 Ausgabelogik Heizkörpertausch	$f_{HK,ist} < 40 \% \text{ UND } f_{HK,neu} < 100 \%$
1 Text Heizkörpertausch	Der aktuelle Heizkörper ist zu klein Selbst ein besseres Modell (Typ 33) müsste mindestens doppelt so groß sein. Alternativ kann ein zusätzlicher Heizkörper oder ein Gebläseheizkörper installiert werden.
2 Ausgabelogik Heizkörpertausch	$40 \% \leq f_{HK,ist} < 70 \% \text{ UND } f_{HK,neu} < 100 \%$

Thema	Inhalt
2 Text Heizkörpertausch	Zu geringe Leistung Auch ein besserer Heizkörper (Typ 33) müsste etwas größer dimensioniert werden. Alternativ könnte es mit einem Gebläseheizkörper gleicher Größe klappen.
3 Ausgabelogik Heizkörpertausch	$70 \% \leq f_{HK,ist} < 100 \%$ ODER $f_{HK,neu} \geq 100 \%$
3 Text Heizkörpertausch	Etwas zu geringe Leistung Nach Austausch mit einem leistungsstärkeren Modell gleicher Größe sollte die Leistung ausreichen.
4 Ausgabelogik Heizkörpertausch	$f_{HK,ist} \geq 100 \%$
4 Text Heizkörpertausch	Gut ausgestattet! Ausreichende Heizkörperleistung, ein Tausch ist nicht notwendig.

Tabelle 10 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Potenzial Heizkörpertausch

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mindestens 50 % der Räume mit $f_{HK,ist} < 40 \%$ ODER mindestens 75 % der Räume mit $f_{HK,ist} < 70 \%$ UND mindestens 1 Raum mit $f_{HK,neu} < 100 \%$
1 Text	Viele Heizkörper sind nicht geeignet – Maßnahmen erforderlich Hier ist ein Heizkörpertausch notwendig. [Alle / x von y der Heizkörper] der in Ihrem Gebäude erfassten Räume benötigen aktuell eine sehr hohe Vorlauftemperatur von deutlich mehr als 55 °C. Sind keine Dämmmaßnahmen geplant, sollten Sie diese Heizkörper durch größere oder leistungsstärkere Modelle ersetzen, damit eine Wärmepumpe effizient und wirtschaftlich arbeitet. Hinweis: Sie können weitere Räume eingeben, um ein genaueres Bild zu erhalten. Spätestens im Rahmen der konkreten Planung sollten alle Heizkörper und Räume im Detail bewertet werden.
2 Ausgabelogik	Mindestens 25 % der Räume mit $f_{HK,ist} < 70 \%$
2 Text	Einzelne Heizkörper sind nicht geeignet – Maßnahmen sinnvoll Ein Tausch verbessert die Effizienz. Ein Teil der Heizkörper benötigt relativ hohe Vorlauftemperaturen. Sind keine Dämmmaßnahmen geplant, können Sie durch einen Austausch gegen leistungsstärkere Modelle die Voraussetzungen für eine Wärmepumpe verbessern und den Stromverbrauch senken. Hinweis: Prüfen Sie zusätzliche Räume oder klären Sie Details in der weiteren Planung.
3 Ausgabelogik	Mindestens 1 Raum mit $f_{HK,ist} < 100 \%$
3 Text	Die meisten Heizkörper passen

Thema	Inhalt
	Ein Wärmepumpen-Praxischeck kann zeigen, ob die Heizkörperflächen in den kritischen Räumen ausreichen. Einzelne Heizkörper in den erfassten Räumen benötigen eine etwas zu hohe Vorlauftemperatur. Ob das in der Praxis ein Problem darstellt, hängt davon ab, wie warm Sie es in diesen Räumen haben möchten und wie intensiv sie genutzt werden. Nach der ersten Heizperiode mit Wärmepumpe haben Sie Klarheit und können über einen Austausch entscheiden. Hinweis: Wenn Sie weitere Räume hinzufügen, kann die Einschätzung noch präziser werden.
4 Ausgabelogik	Alle Räume $f_{HK,ist} \geq 100 \%$
4 Text	Heizkörper sind gut geeignet – keine Maßnahmen erforderlich Gute Voraussetzungen! Die vorhandenen Heizkörper halten die erfassten Räume bei maximal 55°C Vorlauftemperatur zuverlässig warm. So läuft eine Wärmepumpe effizient – ein Austausch ist nicht erforderlich. Hinweis: Wenn Sie weitere Räume hinzufügen, kann die Einschätzung noch präziser werden.

Tabelle 11 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Gebäudehülle

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mindestens 75 % der Räume mit $\varphi_{Raum} > 90 \text{ W/m}^2$
1 Text	Wärmeschutzniveau gering – Maßnahmen sehr sinnvoll Das Gebäude verliert viel Wärme über die Hülle. Wenn die Heizkörper groß genug für die einzelnen Räume sind, kann eine Wärmepumpe trotzdem effizient heizen. Wenn das nicht reicht, empfiehlt sich eine energetische Verbesserung der Gebäudehülle, um den Stromverbrauch zu senken. Mehrere Bauteile weisen einen sehr hohen Wärmedurchgang (genannt: U-Wert) auf. Eine (zusätzliche) Dämmung senkt den Energieverbrauch und die Heizlast deutlich und schafft die nötigen Voraussetzungen für den effizienten und wirtschaftlichen Wärmepumpenbetrieb. Dann genügt außerdem eine kleinere, günstigere Wärmepumpe. Das größte Verbesserungspotenzial hat das [Bauteil]. 💡 Hinweis: Ergänzen Sie weitere Räume, um ein genaueres Bild der Hüllqualität zu erhalten – oder klären Sie die erforderliche Ertüchtigung der Bauteile in der Planungsphase.
2 Ausgabelogik	Mindestens 50 % der Räume mit $\varphi_{Raum} > 90 \text{ W/m}^2$ ODER mindestens 75 % der Räume $\varphi_{Raum} > 70 \text{ W/m}^2$
2 Text	Wärmeschutz ausbaufähig – Maßnahmen empfehlenswert

Thema	Inhalt
	Einige Bauteile bieten Verbesserungspotenzial. Wenn die Heizflächen groß genug für die einzelnen Räume sind, kann eine Wärmepumpe trotzdem effizient heizen. Das Wärmeschutzniveau ist teilweise gut, aber die Wärmeverluste sind noch ziemlich hoch. Gezielte Dämmmaßnahmen senken den Energieverbrauch und verbessern die Effizienz einer Wärmepumpe. Das größte Verbesserungspotenzial hat das [Bauteil]. 💡 Hinweis: Für eine genauere Bewertung können weitere Räume ergänzt oder im Planungsprozess detailliert betrachtet werden.
3 Ausgabelogik	Mindestens ein Raum mit $\varphi_{Raum} > 90 \text{ W/m}^2$ ODER mindestens 25 % der Räume mit $\varphi_{Raum} > 70 \text{ W/m}^2$ ODER weniger als 50 % der Räume mit $\varphi_{Raum} < 50 \text{ W/m}^2$
3 Text	Wärmeschutz ausbaufähig – Maßnahmen vorteilhaft Einzelne Bauteile bieten noch Potenzial. Das Wärmeschutzniveau ist insgesamt gut, aber zum Teil sind die Wärmeverluste hoch. Gezielte Verbesserungen können die Effizienz einer Wärmepumpe weiter steigern und langfristig den Energieverbrauch und die Kosten senken. Das größte Verbesserungspotenzial hat das [Bauteil]. 💡 Hinweis: Für eine genauere Bewertung können weitere Räume ergänzt oder im Planungsprozess detailliert betrachtet werden.
4 Ausgabelogik	Mindestens 50 % der Räume mit $\varphi_{Raum} < 50 \text{ W/m}^2$
4 Text	Gut gedämmte Gebäudehülle – keine Maßnahmen erforderlich Sehr gute Voraussetzungen! Die eingegebenen Räume zeigen gut gedämmte Außenbauteile – die Wärmeverluste sind gering. Einer effizienten Beheizung mit einer Wärmepumpe steht nichts im Weg. 💡 Hinweis: Zusätzliche Räume können helfen, das Bild weiter zu schärfen.

Tabelle 12 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Außenwände

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,8
1 Text	Hohe Wärmeverluste über die Außenwand – Dämmung erforderlich Die Außenwand hat einen sehr hohen U-Wert. Deshalb entweicht hier mit [Prozent] ein Großteil der Wärme. Eine (zusätzliche) Dämmung senkt den Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten deutlich, kleinere Heizkörper und eine kleinere Wärmepumpe reichen dann aus.
2 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,5
2 Text	Außenwand mit hohem Energieverlust – Verbesserung empfohlen Die Dämmung der Außenwand ist unzureichend. Sie ist für [Prozent] der Wärmeverluste verantwortlich. Der hohe Wärmeverlust verschlechtert die Effizienz einer Wärmepumpe und erhöht deren Stromverbrauch. Eine zusätzliche Dämmung ist empfehlenswert und verbessert die Wärmepumpen-Eignung des gesamten Gebäudes.
3 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,35

Thema	Inhalt
3 Text	Ausbaufähiger Wärmeschutz Außenwand – Maßnahmen vorteilhaft Die Außenwand zeigt bereits einen moderaten Wärmeschutz. Circa [Prozent] der Wärme gehen über die Außenwand verloren. Eine zusätzliche Dämmung kann die Heizlast weiter reduzieren und damit die Wärmepumpen-Eignung verbessern.
4 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume kleiner gleich 0,35
4 Text	Außenwand gut gedämmt – geringe Wärmeverluste Die Außenwand hat einen guten energetischen Standard und sorgt für geringe Wärmeverluste. Damit bietet sie gute Voraussetzungen für den effizienten Betrieb einer Wärmepumpe.

Tabelle 13 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Fenster

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mehr als 50 % der Räume mit Fenster-U-Wert von über 2,7 W/(m²K)
1 Text	Veraltete Fenster – Maßnahmen erforderlich Die Fenster verlieren sehr viel Wärme (circa [Prozent] der Wärmeverluste). In vielen Räumen sind die Fenster energetisch veraltet. Der hohe Wärmeverlust verschlechtert die Effizienz einer Wärmepumpe. Ein Austausch ist empfehlenswert – am besten im Zuge einer möglichen Fassadensanierung, um Kosten zu sparen und die Fenster in die Dämmebene zu versetzen.
2 Ausgabelogik	Mehr als 25 % der Räume mit Fenster-U-Wert von über 2,7 W/(m²K) ODER mehr als 50 % der Räume mit Fenster-U-Wert von über 2,1 W/(m²K)
2 Text	Einige Fenster veraltet – Maßnahmen sinnvoll Die Fenster verlieren viel Wärme (circa [Prozent] der Wärmeverluste). Einige Fenster sind energetisch ungünstig veraltet. Der Austausch – am besten im Zuge einer möglichen Fassadensanierung – verbessert die Wärmepumpen-Eignung und spart Energie.
3 Ausgabelogik	Mehr als 10 % der Räume mit Fenster-U-Wert von über 2,1 W/(m²K) ODER mehr als 50 % der Räume mit Fenster-U-Wert von über 1,7 W/(m²K)
3 Text	Einzelne Fenster als Schwachstelle – Maßnahmen vorteilhaft Fenster verbessern – für mehr Effizienz. Einige Fenster sind energetisch ungünstig. Der Austausch verbessert die Wärmepumpen-Eignung und spart Energie.
4 Ausgabelogik	Sonst
4 Text	Fenster in gutem Zustand – kein Austausch nötig Alles im grünen Bereich. Die Fenster sind ausreichend wärmedämmend – für die Nutzung einer Wärmepumpe bestehen keine Einschränkungen.

Tabelle 14 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Dach

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,8
1 Text	Dach mit sehr hohen Wärmeverlusten – Dämmung erforderlich Das Dach besitzt aktuell wenig Wärmeschutz und ist deshalb für circa [Prozent] der Wärmeverluste verantwortlich, was die Heizlast deutlich erhöht. Eine Dämmung kann hier wirksam Abhilfe schaffen – sie verbessert den Wohnkomfort und trägt zur Reduktion der Vorlauftemperatur bei.
2 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,5
2 Text	Höhere Energieverluste Dachflächen – Verbesserung empfohlen Der vorhandene Wärmeschutz des Dachs ist ausbaufähig (circa [Prozent] der Wärmeverluste). Eine nachträgliche oder stärkere dickere Dämmung reduziert nicht nur die Heizkosten, sondern erleichtert auch den effizienten Betrieb einer Wärmepumpe.
3 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,3
3 Text	Dach mit moderatem Wärmeschutz – Optimierungspotenzial Das Dach bietet bereits einen soliden Wärmeschutz, der jedoch weiter verbessert werden kann. Eine zusätzliche Dämmung hilft, die Heizlast weiter zu senken und ermöglicht niedrigere Vorlauftemperaturen – ein Pluspunkt für den Wärmepumpenbetrieb.
4 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume kleiner gleich 0,3
4 Text	Dach gut gedämmt – sehr gute Voraussetzung Das Dach hat einen niedrigen U-Wert. Damit verliert es wenig Wärme und leistet bereits einen wichtigen Beitrag zum Wärmeschutz des Gebäudes. Das ist ideal für den wirtschaftlichen und effizienten Betrieb einer Wärmepumpe.

Tabelle 15 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Fußboden

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,8
1 Text	Ungedämmter Fußboden verursacht hohe Wärmeverluste (Anteil circa [Prozent]). Eine ungedämmte Kellerdecke zum nicht beheizten Keller verursacht erhebliche Verluste. Eine Dämmung von unten ist eine einfache und wirkungsvolle Maßnahme. Ist kein Keller vorhanden, wäre die Dämmung der Bodenplatte mit dem Neuaufbau des Fußbodens verbunden und andere Wärmeschutzmaßnahmen sind vorzuziehen.
2 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,5
2 Text	Ungedämmter Fußboden verursacht spürbare Wärmeverluste (Anteil circa [Prozent]) Einige Räume haben einen höheren Wärmeverlust durch den Fußboden. Eine nachträgliche Dämmung der Kellerdecke von unten ist meist einfach umsetzbar und kann die Effizienz deutlich verbessern. Wenn kein Keller vorhanden ist, kann eine Dämmung sehr aufwändig sein – andere Maßnahmen haben dann Vorrang.

Thema	Inhalt
3 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,4
3 Text	Fußboden mit passablem Wärmeschutz - Optimierung möglich. Grenzt der Fußboden gegen einen unbeheizten Keller, kann die Kellerdecke einfach nachträglich gedämmt werden.
4 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume kleiner gleich 0,4
4 Text	Fußboden gut gedämmt – kaum Wärmeverluste nach unten. Sehr gut: In Richtung unbeheizter Keller oder Erdreich geht nur wenig Wärme verloren.

Tabelle 16 Empfehlungstexte Gebäudeebene – Bewertung Kellerdecke

Thema	Inhalt
1 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,8
1 Text	Ungedämmte Decke zum Dachboden verursacht hohe Wärmeverluste (Anteil circa [Prozent]). Ohne Dämmung entweicht viel Wärme über die oberste Geschossdecke in den unbeheizten Dachraum. Eine nachträgliche Dämmung auf der Decke ist meist einfach und günstig umsetzbar und besonders effektiv.
2 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,5
2 Text	Ungedämmte Decke zum Dachraum bringt spürbare Wärmeverluste (Anteil circa [Prozent]) Die Dachräume haben einen höheren Wärmeverlust an den unbeheizten Dachraum. Eine nachträgliche Dämmung auf der Decke ist meist einfach und günstig umsetzbar und besonders effektiv.
3 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume über 0,3
3 Text	Moderate Wärmeverluste zum unbeheizten Dachraum - Optimierung möglich. Sollte sich die Gelegenheit ergeben, kann etwas mehr Dämmung nachträglich kostengünstig auf der Decke aufgebracht werden.
4 Ausgabelogik	Mittlerer U-Wert über alle Räume kleiner gleich 0,3
4 Text	Oberste Geschossdecke gut gedämmt – kaum Wärmeverluste nach oben. Sehr gut: Es entweicht kaum Wärme in den unbeheizten Dachraum – keine Maßnahme erforderlich.

A.2 Plausibilisierung und Robustheit

Tabelle 17 Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Außenwand.

Baujahr	U-Wert TABULA	U-Wert DIN EN 12831	Differenz U-Wert	Anzahl Gebäude
1958 - 1968	1,44	1,13	-0,31	6
1969 - 1978	1,21	1,04	-0,17	13
1984 - 1994	0,68	0,67	-0,01	11
1995 - 2002	0,5	0,59	0,09	17
2003 - 2008	0,35	0,48	0,13	13
2023 und neuer	0,24	0,31	0,07	6

Tabelle 18 Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Fenster.

Baujahr	U-Wert TABULA	Korrektur U-Wert GCWP	U-Wert DIN EN 12831	Differenz U-Wert	Anzahl Gebäude
1919 - 1948	2,57		1,64	-0,93	5
1958 - 1968	2,9		1,52	-1,38	6
1969 - 1978	2,57		2,27	-0,3	7
1979 - 1983	4,3	2,57	2,48	-1,82	4
1984 - 1994	2,57		1,88	-0,69	13
1995 - 2002	1,6		1,6	0	20
2003 - 2008	1,6		1,55	-0,05	13
2009 - 2022	1,45		1,02	-0,43	2
2023 und neuer	1,1		1,05	-0,05	6

Tabelle 19 Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Dach.

Baujahr	U-Wert TABULA	Korrektur U-Wert GCWP	U-Wert DIN EN 12831	Differenz U-Wert	Anzahl Gebäude
1958 - 1968	0,92		0,63	-0,29	5
1969 - 1978	0,63		0,79	0,16	11
1979 - 1983	0,43		0,56	0,13	6
1984 - 1994	0,3	0,45	0,58	0,28	7

Baujahr	U-Wert TABLUA	Korrektur U-Wert GCWP	U-Wert DIN EN 12831	Differenz U- Wert	Anzahl Gebäude
1995 - 2002	0,22	0,3	0,34	0,12	12
2003 - 2008	0,22	0,275	0,33	0,11	13
2009 - 2022	0,22		0,21	-0,01	2
2023 und neuer	0,22		0,26	0,04	6

Tabelle 20 Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Decke.

Baujahr	U-Wert TABLUA	Korrektur U-Wert GCWP	U-Wert DIN EN 12831	Differenz U- Wert	Anzahl Gebäude
1919 - 1948	1,11		1,17	0,06	7
1958 - 1968	0,92		0,96	0,04	9
1969 - 1978	0,63		0,96	0,33	15
1979 - 1983	0,43		0,9	0,47	7
1984 - 1994	0,3	0,45	0,74	0,44	13
1995 - 2002	0,22	0,3	0,75	0,53	20
2003 - 2008	0,22	0,275	0,47	0,25	12
2009 - 2022	0,22		0,68	0,46	2
2023 und neuer	0,22		0,38	0,16	6

Tabelle 21 Gegenüberstellung von mittleren U-Werten [$W/(m^2K)$] der DIN EN 12831 Projekte mit U-Werten nach TABULA für das Bauteil Fußboden.

Baujahr	U-Wert TABLUA	Korrektur U-Wert GCWP	U-Wert DIN EN 12831	Differenz U- Wert	Anzahl Gebäude
1919 - 1948	1,11		1,28	0,17	6
1958 - 1968	0,97		0,77	-0,2	9
1969 - 1978	0,846		0,71	-0,13	17
1979 - 1983	0,81		0,58	-0,23	8
1984 - 1994	0,55		0,63	0,08	17
1995 - 2002	0,34	0,5	0,58	0,24	22
2003 - 2008	0,4		0,45	0,05	13
2009 - 2022	0,3		0,55	0,25	2
2023 und neuer	0,35		0,29	-0,06	6

Tabelle 22 Dachräume „Gebäude Quergiebel“: Heizlasten nach Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).

Raum	Resultat Heizlast [W]	Raumheizlast	Lüftung	Transmission	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Dachfenster	... Fußboden
Raum 1	12831	885	313	572	141	112	82	210	26	
Raum 1	GCWP	751	240	511	99	95	67	214	36	
Raum 1	Differenz	-134	-73	-61	-42	-17	-15	4	9	
Raum 2	12831	1218	408	810	114	112	95	144	26	318
Raum 2	GCWP	1080	299	781	181	95	129	90	36	251
Raum 2	Differenz	-138	-109	-29	67	-17	34	-55	9	-67
Bad	12831	734	158	576	121	127				
Bad	GCWP	376	158	218	109	108				
Bad	Differenz	-358	0	-358	-11	-19				
Raum 3	12831	792	261	530	148	112	84	186		
Raum 3	GCWP	692	201	491	103	95	61	232		
Raum 3	Differenz	-99	-60	-39	-45	-17	-23	46		
Spitzboden	12831	2689	751	1938	338			1616		
Spitzboden	GCWP	2340	687	1653	230			1424		
Spitzboden	Differenz	-348	-64	-284	-109			-192		

Tabelle 23 Dachräume „Gebäude Quergiebel“: Bauteilflächen und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).

	Resultat Flächen [m²]	... Raumfläche	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Dachfenster	... Fußboden
Raum 1	12831	27,3	9,9	1,9	27,8	18,6	0,8	
Raum 1	GCWP	27,3	7,4	1,9	8,2	19,3	0,7	
Raum 1	Differenz	0,0	-2,4	0,0	-19,6	0,7	-0,1	
Raum 2	12831	34,0	8,4	1,5	18,5	13,1	0,8	40,0
Raum 2	GCWP	34,0	13,6	1,9	15,6	8,1	0,7	34,0

	Resultat Flächen [m ²]	... Raumfläche	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Dachfenster	... Fußboden
Raum 2	Differenz	0,0	5,3	0,4	-2,9	-4,9	-0,1	-6,0
Bad	12831	11,1	2,9	1,5				
Bad	GCWP	11,1	7,3	1,9				
Bad	Differenz	0,0	4,4	0,4				
Raum 3	12831	22,8	10,3	1,5	30,6	15,8		
Raum 3	GCWP	22,8	7,7	1,9	7,4	21,0		
Raum 3	Differenz	0,0	-2,5	0,4	-23,2	5,2		
Spitzboden	12831	78,0	19,1			137,0		
Spitzboden	GCWP	78,0	17,3			128,7		
Spitzboden	Differenz	0,0	-1,8			-8,3		

Tabelle 24 Dachräume „Gebäude Quergiebel“: U-Werte je Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).

	Resultat U- Werte [W/(m ² K)]	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Dachfenster	... Fußboden
Raum 1	12831	0,50	1,90	2,30	0,30	1,00	
Raum 1	GCWP	0,35	1,60	1,00	0,28	1,60	
Raum 1	Differenz	-0,15	-0,30	-1,30	-0,03	0,60	
Raum 2	12831	0,50	1,90	1,90	0,30	1,00	1,10
Raum 2	GCWP	0,35	1,60	1,00	0,28	1,60	0,40
Raum 2	Differenz	-0,15	-0,30	-0,90	-0,03	0,60	-0,70
Bad	12831	0,50	1,90				
Bad	GCWP	0,35	1,60				
Bad	Differenz	-0,15	-0,30				
Raum 3	12831	0,50	1,90	2,30	1,90		
Raum 3	GCWP	0,35	1,60	1,00	0,28		
Raum 3	Differenz	-0,15	-0,30	-1,30	-1,63		

	Resultat U-Werte [W/(m²K)]	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Dachfenster	... Fußboden
Spitzboden	12831	0,5			0,4		
Spitzboden	GCWP	0,35			0,275		
Spitzboden	Differenz	-0,15			-0,125		

Tabelle 25 Dachräume des „Gebäude Gaube“: Heizlasten nach Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).

Raum	Resultat Heizlast [W]	Raumheizlast	Lüftung	Transmission	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Fußboden
Bad	12831	897	86	812	286	92	65	246	115
Bad	GCWP	1160	183	977	197	0	0	630	149
Bad	Differenz	262	97	166	-89	-92	-65	384	34
Raum 1	12831	411	145	267	207	107	-47	0	0
Raum 1	GCWP	481	145	336	245	91	0	0	0
Raum 1	Differenz	69	0	69	38	-16	47	0	0
Raum 2	12831	901	204	697	296	189	-7	219	0
Raum 2	GCWP	1173	216	957	203	91	0	664	0
Raum 2	Differenz	273	12	260	-94	-98	7	445	0
Spitzboden	12831	1018	200	818	216	0	0	614	-11
Spitzboden	GCWP	1045	292	753	169	0	0	584	0
Spitzboden	Differenz	27	92	-65	-47	0	0	-29	11

Tabelle 26 Dachräume des „Gebäude Gaube“: Bauteilflächen und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).

	Resultat Flächen [m ²]	... Raumfläche	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Fußboden
Bad	12831	7,8	13,7	1,2	10,2	16,1	16,3
Bad	GCWP		8,6	0,0	0,0	18,2	13,0
Bad	Differenz		-5,1	-1,2	-10,2	2,1	-3,2
Raum 1	12831	10,4	11,6	1,6	10,0	0,0	0,0
Raum 1	GCWP		11,9	1,6	0,0	0,0	10,4
Raum 1	Differenz		0,3	0,0	-10,0	0,0	10,4
Raum 2	12831	18,4	17,2	2,8	7,5	16,0	0,0
Raum 2	GCWP		9,9	1,6	0,0	18,2	18,4
Raum 2	Differenz		-7,3	-1,2	-7,5	2,2	18,4
Spitzboden	12831	27,5	10,5	0,0	0,0	44,9	27,5
Spitzboden	GCWP		8,2	0,0	0,0	42,7	27,5
Spitzboden	Differenz		-2,3	0,0	0,0	-2,1	0,0

Tabelle 27 Dachräume des „Gebäude Gaube“: U-Werte je Bauteil und Differenz zwischen DIN EN 12831 und Gebäudecheck Wärmepumpe (GCWP).

	Resultat U- Werte [W/(m ² ·K)]	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Fußboden
Bad	12831	0,50	1,90	1,70	0,30	0,65
Bad	GCWP	0,50	1,60	1,00	0,30	0,50
Bad	Differenz	0,00	-0,30	-0,70	0,00	-0,15
Raum 1	12831	0,50	1,90	1,80		
Raum 1	GCWP	0,50	1,60	1,00		
Raum 1	Differenz	0,00	-0,30	-0,80		
Raum 2	12831	0,50	1,90	1,70	0,30	
Raum 2	GCWP	0,50	1,60	0,00	0,30	

	Resultat U- Werte [W/(m²K)]	... Außenwand	... Fenster	... Innenwand	... Dach	... Fußboden
Raum 2	Differenz	0,00	-0,30	-1,70	0,00	
Spitzboden	12831	0,50	0,00		0,30	0,60
Spitzboden	GCWP	0,50	1,60		0,30	0,50
Spitzboden	Differenz	0,00	1,60		0,00	-0,10

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045.

Albers, K.-J.; Recknagel, H.; Sprenger, E. (Hrsg.) (2024): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. Band 2. ITM InnoTech Medien GmbH, Kleinaitingen.

BBSR (2019): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn.

BDEW; EY Consulting (2024): Fortschrittsmonitor 2024 - Energiewende. Berlin.

Bierman, G.; Abadi, M.; Torgersen, M. (2014): Understanding TypeScript. In: R. Jones: ECOOP 2014 – Object-Oriented Programming. Lecture Notes in Computer Science Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. S. 257–281. DOI: 10.1007/978-3-662-44202-9_11.

Bockelmann, F. (2018): WPsource: Planungs- und Konzeptwerkszeug für Wärmequellen und –übertrager für Wärmepumpen.

bwp (2025a): Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2024 | Zahlen & Daten | BWP | waermepumpe.de. <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/>. (02.10.2025).

bwp (2025b): Statistik belegt Trend zur Wärmepumpe – nicht nur im Neubau. <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/statistik-belegt-trend-zur-waermepumpe-nicht-nur-im-neubau/>. (10.10.2025).

Cischinsky, D. H.; Diefenbach, D. N. (2018): Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt.

co2online (2023): WärmepumpenCheck: der Wärmepumpen-Rechner | co2online. <https://www.co2online.de/service/energiesparchecks/waermepumpencheck/>. (10.08.2023).

DEHSt (2024): EU-ETS 2 Ausblick auf 2027. https://www.dehst.de/DE/Themen/nEHS/EU-ETS-2/ausblick-auf-2027/eu-ets-2-ausblick-2027_node.html. (10.10.2025).

dena (2024): DENA GEBÄUDEREPORT 2025. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Deutsche Energie Agentur (Hrsg.), Berlin. <https://www.dena.de/infocenter/gebaeudereport-2025/> (04.02.2025).

Dohmann, J. (2016): Thermodynamik der Kälteanlagen und Wärmepumpen: Grundlagen und Anwendungen der Kältetechnik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-662-49110-2.

DVGW (2023): DVGW-W-511-Reihe Hygiene in der Trinkwasser-Installation. DVGW, Bonn.

FfE (2023): Wärmepumpen-Ampel | Einzelgebäude-Rechner. <https://waermepumpen-ampel.ffe.de/>. (10.08.2023).

Fraunhofer Institut (2021): Studie: »Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem«. In: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html>. (05.09.2022).

Günther, D. (2024): Wärmepumpenfeldtest: Zwischenergebnisse bestätigen effizienten Betrieb auch im Altbau - Fraunhofer ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2024/waermepumpenfeldtest-zwischenergebnisse-bestaetigen-effizienten-betrieb-auch-im-altbau.html>. (10.10.2025).

Günther, D.; Wapler, J.; Langner, R.; Helmling, S.; Miara, M.; Fischer, D.; Zimmermann, D.; Wolf, T.; Wille-Hausmann, B. (2020): WPsmart im Bestand. Felduntersuchung optimal abgestimmter

Wärmepumpenheizungssysteme in Bestandsgebäuden beim Betrieb im konventionellen sowie im intelligenten Stromnetz (Smart Grid). Freiburg i. Br.

https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf (13.09.2022).

Holm, A.; Mellwig, P.; Pehnt, M. (2023): Wärmeschutz und Wärmepumpe - warum beides zusammengehört. Studie im Auftrag des Verbands für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. (FIW), Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), München, Berlin, Heidelberg. S. 39.

Kropp, M.; Hörnle, O.; Lämmle, M.; Wapler, J.; Hess, S. (2020): Einfluss der Trinkwarmwasser-Systemvariante auf die Performance von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. In: DKV-Tagung 2020. DKV.

Lämmle, M.; Metz, J.; Kropp, M.; Wapler, J.; Oltersdorf, T.; Günther, D.; Herkel, S.; Bongs, C. (2023): Heat Pump Systems in Existing Multifamily Buildings: A Meta-Analysis of Field Measurement Data Focusing on the Relationship of Temperature and Performance of Heat Pump Systems. No. 11. DOI: 202300379.

Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R.; Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.) (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie: beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden ; erarbeitet im Rahmen der EU-Projekte TABULA - „Typology approach for building stock energy assessment“, EPISCOPE - „Energy performance indicator tracking schemes for the continuous optimisation of refurbishment processes in European housing stocks“. IWU, Darmstadt.

Loga, T.; Swiderek, S.; Grafe, M. (2019): Modellprojekt Energieverbrauchsbenchmarks. Endbericht. IWU, Darmstadt.

Luderer, G.; Bartels, F.; Brown, T.; Aulich, C.; Benke, F.; Fleiter, T.; Frank, F.; Ganai, H.; Geis, J.; Gerhardt, N.; Gnann, T.; Gunnemann, A.; Hasse, R.; Herbst, A.; Herkel, S.; Hoppe, J.; Kost, C.; Krail, M.; Lindner, M.; Neuwirth, M.; Nolte, H.; Pietzcker, R.; Plötz, P.; Rehfeldt, M.; Schreyer, F.; Seibold, T.; Senkpiel, C.; Sörgel, D.; Speth, D.; Steffen, B.; Verpoort, P. C. (2025): Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. Potsdam Institute for Climate Impact Research. S. 106 pages, 33,7 MB. DOI: 10.48485/PIK.2025.003 https://publications.pik-potsdam.de/pubman/item/item_32090 (23.09.2025).

Luderer, G.; Kost, C.; Dominika (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Potsdam Institute for Climate Impact Research. S. 359 pages. DOI: 10.48485/PIK.2021.006.

Matt Cone (2025): Markdown Cheat Sheet | Markdown Guide. <https://www.markdownguide.org/cheat-sheet/>. (09.06.2025).

Mauroy, A. (2025): Node.js — Running TypeScript code using transpilation. https://nodejs.org/en/learn/typescript/transpile?utm_source=chatgpt.com. (20.09.2025).

Mellwig, P.; Blömer, S. (2024): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 - O45 Welten - Gebäudesektor. https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/20240924_Gebaeudebericht.pdf.

Mellwig, P.; Pehnt, D. M.; Lempik, J. (2021): Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich.

Otto, M.; Thornton, J. (2025): Bootstrap. <https://getbootstrap.com/>. (09.06.2025).

Renz, I.; Hacke, U. (2016): Einflussfaktoren auf die Sanierung im deutschen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt.

Rühling, K. (2024): EnOB: ULTRA-F. Voraussetzungen für Temperaturabsenkungen in der Trinkwasserinstallation. Berlin.

Seshadri, S. (2018): Angular: up and running: learning Angular, step by step. O'Reilly, Sebastopol, CA.

SHK INFO UG (2023): Heizungsberechnung und Auslegung für deine Wärmepumpe – mit einer Raumweisen Heizlastberechnung - Heizreport. <https://www.heiz.report/de>. (10.08.2023).

siz energie+ (2023): EnOB: future:heatpump_II. <https://siz-energieplus.de/projekte/enob-futureheatpump-ii-erweiterung-und-ausbau-des-vordimensionierungsprogramms-wpsource>. (10.08.2023).

Stolte, C. (2022): Wärmepumpen in der Energieberatung. Eine dena-Umfrage unter 10.000 Energieeffizienz-Experten und Expertinnen. dena.

Thamling, N.; Rau, D.; Kemmler, Dr. A. (2022): Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin, Basel, München, Freiburg, Heidelberg, Dresden.

https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/gebaeudestrategie-klimaneutralitaet-2045.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (05.04.2024).