

Zusammenhang Energieverbrauch und Dämmstandard bei Mehrfamilienhäusern

Tobias Loga und Britta Stein

IWU – Institut Wohnen und Umwelt,
Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt, 06151/2904-0, t.loga@iwu.de b.stein@iwu.de

Abstract

Für mehr als 100 Mietwohngebäude mit unterschiedlichem Modernisierungszustand wurde der gemessene Heizenergieverbrauch analysiert. Ergebnis ist, dass Wärmedämmung, Qualität der Fenster und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung einen entscheidenden Einfluss auf den Verbrauch haben. In einem zweiten Schritt wurde mit einem physikalischen Modell für jedes Gebäude der theoretische Energiebedarf mit möglichst realitätsnahen Eingangsdaten (insbesondere Modernisierungszustände der Gebäudehüllen) und Randbedingungen (beispielsweise für Nutzung und Klima) ermittelt. Es wurde festgestellt, dass die von den verschiedenen Wärmeschutzniveaus abhängigen Verbrauchsunterschiede gut mit den aus dem Rechenmodell resultierenden theoretischen Erwartungen übereinstimmen.

Schlüsselwörter

Gebäudestichprobe, Wärmegüte, Heizenergieverbrauch, Verbrauchsbenchmarks, Realbilanzierung, Prognosemodell

Einführung

Ausgangslage

Aus Klimaschutzgründen ist eine drastische Senkung des fossilen Energieverbrauchs unserer Gebäude erforderlich. Dies kann nur gelingen, indem zum einen der Wärmebedarf für die Bereitstellung von akzeptablen Raumtemperaturen und von warmem Wasser durch Effizienzmaßnahmen soweit wie möglich reduziert wird, zum anderen der verbleibende Bedarf an Wärme durch erneuerbare Energiequellen gedeckt wird. Gegenüber den derzeit laufenden Aktivitäten zur energetischen Modernisierung sind erhöhte Anstrengungen nötig, was den Einsatz von Technik, finanziellen Mitteln, Personal und Material anbelangt. Umso wichtiger ist, dass dieser Aufwand zielgerichtet, wirksam und effizient ist.

Ein Tracking der tatsächlich umgesetzten Maßnahmen und des daraus resultierenden Verbrauchs fossiler Energieträger ist hierfür unabdingbar – auf nationaler und regionaler Ebene, aber auch auf der Ebene von Gebäudeportfolios von Wohnungsunternehmen. Es sollte transparent werden, welche Verbrauchsniveaus durch unterschiedliche Maßnahmenpakete im Mittel erreicht werden. Um Prognosemodelle und damit auch Steuerungsmechanismen zu verbessern, muss der gemessene Energieverbrauch mit auf realistischen Annahmen basierenden Modellen und daraus abgeleiteten Erwartungen verglichen werden. Im Fall von größeren Diskrepanzen sollten die Gründe ermittelt und eine Verbesserung erreicht werden. Die Erkenntnisse müssen so

aufbereitet werden, dass sie bei Entscheidungen über Modernisierungsmaßnahmen und -strategien leicht berücksichtigt werden können.

Zielsetzung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekts MOBASY werden diese Aufgaben in Kooperation mit drei Wohnungsunternehmen konkret angegangen. Aus dem Bestand der Unternehmen gibt es eine Stichprobe von Mehrfamilienhäusern mit einer großen Bandbreite energetischer Zustände (überwiegend Altbauten unterschiedlicher Modernisierungszustände + einzelne neuere Gebäude). Da in den Gebäuden nur konventionelle Wärmeversorgungssysteme installiert sind (Brennstoffe, Fernwärme), liegt der Fokus hier auf der Wirkung von Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle. Konkret soll die Frage beantwortet werden, welcher Energieverbrauch mit unterschiedlichen Dämmniveaus erreicht wird und inwieweit dieser den theoretischen Erwartungen aus einem an realitätsnahen Eingangsdaten und Randbedingungen ausgerichteten physikalischen Modell entspricht.

Vorgehen

Zu diesem Zweck wird die Gebäudestichprobe entsprechend dem theoretischen Wärmeverlust der Gebäudehülle in Klassen eingeteilt. Für diese „Wärmegüte-Klassen“ werden Mittelwerte des Energieverbrauchs gebildet, wobei zwischen Verbrauchsmessungen ohne und mit Warmwasser unterschieden wird. Darüber hinaus wird der theoretische Wärmeverlust anschaulich gemacht, indem für jede Wärmegüte-Klasse die Haupteinflussgrößen statistisch ausgewertet werden: Dämmstärken, Fenster-U-Werte und das Vorhandensein von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

Die empirisch ermittelten Verbrauchswerte werden darüber hinaus mit den für unterschiedliche Dämmstandards theoretisch zu erwartenden Werten verglichen. Hierfür wird ein physikalisches Modell herangezogen, das bereits im Verbrauchscontrolling für die Identifikation von Gebäuden mit auffälligem Verbrauch dient (MOBASY-Realbilanzierung, siehe [Loga et al. 2021]). Für jede Wärmegüte-Klasse wird neben dem mittleren gemessenen Verbrauch und dessen Streuung nun auch zum Vergleich der auf Basis der Zustandsdaten mit der Realbilanzierung geschätzte Verbrauch und die Unsicherheit der Schätzung angegeben. Dieser aus physikalischer Sicht erwartete Energieverbrauch wird im Folgenden als Energiebedarf¹ bezeichnet.

¹ Der mit der MOBASY-Realbilanzierung berechnete Energiebedarf ist nicht zu verwechseln mit dem im Nachweis nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) berechneten Norm-Energiebedarf. Die Besonderheiten werden im später folgenden Abschnitt "Physikalisches Modell" dargestellt.

Datengrundlage und Methodik

Gebäudestichprobe

Bei den analysierten Daten handelt es sich um eine Stichprobe von 108 Geschosswohnbauten von drei Wohnungsunternehmen, in der Regel jeweils bestehend aus einem Gebäudeblock, in wenigen Fällen auch aus mehreren Blöcken (Tabelle 1). Etwa 160.000 m² Wohnfläche verteilen sich auf etwa 2.400 Wohnungen.

Tabelle 1: Übersicht über die Gebäudestichprobe²

Datensätze für Gebäude	108	
Gebäudeblöcke	113	
Häuser (Adressen / Hauseingänge)	211	
Wohnungen	2.405	
beheizte Wohnfläche	157.967	m ²
beheizte Netto-Raumfläche ³ (Referenzfläche der Energiebilanzierung)	173.762	m ²

Die Gebäudestichprobe ist in den MOBASY-Berichten zu Realbilanz und Verbrauchcontrolling [Loga et al. 2021] sowie zu Verbrauchsbenchmarks [Loga et al. 2022a] ausführlich dokumentiert.

Erfasste Gebäudedaten / Energieprofil-Indikatoren

Die Gebäudedaten wurden entsprechend dem Energieprofil-Schema (Formulare siehe Anhang Bild 7 und Bild 8, Details siehe [Loga et al. 2021] S. 10 ff.) von Mitarbeitern der drei Wohnungsunternehmen tabellarisch erfasst und vom IWU in die MOBASY-Gebäude-Datentabelle übertragen. Die Daten wurden einer Qualitätsüberprüfung unterzogen, die die Begehung von Gebäuden mit einem im Vergleich zur Erwartung auffälligen Verbrauch einschloss.

² Als „Haus“ oder „Hauseingang“ wird bei den beteiligten Wohnungsunternehmen eine Gebäudeeinheit bezeichnet, die jeweils eine eigene Adresse, einen Hauseingang und ein eigenes Treppenhaus aufweist. Als „Gebäudeblock“ oder „Block“ wird in der Regel eine Gruppe von aneinandergrenzenden Häusern bezeichnet, die baukonstruktiv und architektonisch eine Einheit bilden.

³ mit einem pauschalen Faktor 1,1 aus der Wohnfläche geschätzt

Gemessene Jahreswerte des Heizenergieverbrauchs

Die Verbrauchswerte wurden direkt aus der Nebenkostenabrechnung bzw. den Energierechnungen entnommen (Zeitraum 2015 bis 2021, teilweise mehrere Verbrauchsjahre je Gebäude). Die abgerechneten Energiemengen waren entweder Brennstoffe oder Wärme (auch Fernwärme). Bei Brennstoffen sind die kWh-Angaben auf den Brennwert (oberer Heizwert) bezogen. Bei den Auswertungen wurde zwischen Verbrauchsmessungen <H+W> „Heizung + Warmwasser“ und <H> „Heizung“ unterschieden. Dabei wurden nur solche Werte verwendet, die tatsächlich gemessen wurden.⁴ Sind mehrere Gebäude an einer Heizzentrale angeschlossen und keine Wärmemengenzähler für Heizung je Gebäude vorhanden, so erfolgt die Zuordnung des gemessenen Verbrauchs zur Einzelwohnung in der Heizkostenabrechnung normalerweise auf der Grundlage der Heizkostenverteiler. Die Verbrauchswerte je Gebäude wurden in diesem Fall durch Summation der (entsprechend Heizkostenabrechnung geschätzten) Verbrauchsanteile aller Wohnungen des Gebäudes ermittelt.⁵

Die Verbrauchswerte stammen teilweise aus unterschiedlichen Messjahren, teilweise liegen auch unterschiedliche Zählerpositionen vor.⁶ Um Vergleichbarkeit herzustellen, wurden die Messwerte für die Bildung von Verbrauchsbenchmarks auf ein mittleres Klima am Standort des Gebäudes⁷ sowie auf Endenergie (Bilanzpunkt Übergabe an Gebäude) korrigiert. Bei Zentralheizungen enthalten sind damit in den korrigierten Verbrauchs- und Bedarfswerten immer die Wärmeverluste der Wärmeverteilung, -speicherung und -erzeugung – nicht enthalten sind Wärmeverluste der Leitungen von einer separaten Heizzentrale.⁸ Beide Korrekturen werden in einem Rechenschritt vorgenommen. Die entsprechenden Korrekturfaktoren werden aus der theoretischen Bilanzierung abgeleitet (Details siehe [Loga et al. 2022a] S. 21 f.).⁹

⁴ Beispiel: Ist der in der Abrechnung enthaltene Heizenergieverbrauch nur durch Abschätzung der für die Warmwasserbereitung erforderlichen Wärmemenge aus dem gezapften Volumen ermittelt worden, so wird nur der entsprechende Gesamtverbrauch bei der statistischen Auswertung in der Kategorie „Heizung und Warmwasser“ berücksichtigt – eine Berücksichtigung des Heizenergieverbrauchs in der Kategorie „Heizung“ findet nicht statt.

⁵ Eine detaillierte Darstellung der Prüfung und Kategorisierung von Verbrauchswerten aus der Heizkostenabrechnung für die Verwendung im Verbrauchscontrolling findet sich in [Loga et al. 2020a], eine Zusammenfassung in [Loga et al. 2020b].

⁶ Die der Abrechnung zu Grunde liegenden Wärmemengenzähler können z. B. in einer von den Gebäuden entfernt stehenden Heizzentrale, im Hausanschlussraum oder in Wohnungen installiert sein.

⁷ Da die Ermittlung von Verbrauchsbenchmarks für regional operierende Wohnungsunternehmen im Vordergrund steht, erfolgt die Normierung auf das mittlere Klima am Standort des Gebäudes. Alternativ wäre eine Normierung auf das mittlere Klima in Deutschland auf der Grundlage der vorliegenden Daten jedoch natürlich auch möglich.

⁸ Für die hier dargestellten Auswertungen wurden also zur Herstellung einer einheitlichen Vergleichsebene Korrekturen am gemessenen Energieverbrauch vorgenommen, für die bestimmte Modellannahmen erforderlich sind. Im Forschungsbericht [Loga et al. 2022] finden sich aber auch statistische Auswertungen der unkorrigierten Verbrauchsmesswerte mit recht ähnlichen Ergebnissen.

⁹ Die Faktoren bestimmen sich aus dem Verhältnis der Bedarfswerte Endenergie für das mittlere lokale Klima (Verwendung in der TABULA-Energiebilanzierung) zu dem Vergleichswert Bedarf für das Messjahr (mit der tatsächlichen Gradtagzahl und der tatsächlichen Solarstrahlung im Messjahr kalibrierter Bilanzwert, abgegriffen an einer Bilanzenebene, die der Position der Messstelle entspricht). Diese Art der Witterungsberichtigung berücksichtigt somit sowohl Außentemperatur- als auch Solarstrahlungsdaten.

Physikalisches Modell

Die für die Gebäude gemessenen Verbrauchswerte wurden in einem weiteren Schritt mit den theoretischen Erwartungen verglichen. In das hierfür verwendete physikalische Modell gehen die bereits oben erwähnten Energieprofil-Indikatoren ein, die die wichtigsten physischen Eigenschaften des Gebäudes charakterisieren (siehe Schema in Bild 1, die im Anhang in Bild 7 und Bild 8 abgebildeten Formulare geben einen Überblick über die erfassten Größen). Mit Hilfe der Indikatoren werden Schätzwerte für die Fläche der thermischen Hülle und deren Eigenschaften (U-Werte) sowie Effizienzwerte für die Wärmeerzeugung und die Speicher- und Verteilsysteme ermittelt. Sind Informationen nicht bekannt, werden typische Werte aus dem Gebäudebestand verwendet, die soweit wie möglich aus empirischen Untersuchungen abgeleitet sind (siehe [Loga et al. 2021] S. 14 ff.). Das Energiebilanz-Modell nutzt weiterhin Klimadaten der Verbrauchsjahre am Standort der Gebäude (siehe [Loga et al. 2020c] und realistische Ansätze für das Nutzerverhalten (siehe [Loga et al. 2019] S. 126 ff. und S. 285 ff.).

Jeder dieser Eingangsgrößen für die Bilanzierung wird zusätzlich ein spezifischer Unsicherheitsbereich zugeordnet (Bild 1 Mitte). Daraus resultiert der Unsicherheitsbereich des berechneten Energiebedarfs, der die typische Variation bzw. Unschärfe der Eingangsgrößen (Gebäudedaten, Nutzerverhalten, Wetterbedingungen, Beschattung, etc.) abbildet. Bei der Festlegung von Rechenwerten und ihren Spannbreiten bzw. Unsicherheiten wurden so weit wie möglich empirisch ermittelte Daten verwendet.¹⁰ Wenn für ein Gebäude Informationen fehlen, werden also qualifizierte typische Werte oder Durchschnittswerte als Eingabewerte verwendet und es wird der jeweiligen Eingabegröße eine größere Unsicherheit zugewiesen.

Die größte Herausforderung bei der Bestimmung der Eingangsgrößen stellt der Zustand der Gebäudehülle als wichtigstem Faktor für den Energieverbrauch von Gebäuden dar. Die quantitative Bewertung des bestehenden Zustandes nach Augenschein bzw. Aktenlage ist bei unsanierten Gebäuden sehr schwierig, da die in der Vergangenheit verwendeten Materialien und ihre Wärmeleitfähigkeit nicht bekannt bzw. dokumentiert sind. Für ungedämmte Konstruktionen werden daher Pauschalwerte und Unsicherheitsspannen verwendet, die je Baualtersklasse aus einer Vielzahl unterschiedlichster in der Praxis vorkommender Konstruktionen und Materialien abgeleitet wurden (siehe Recherchen von [Renhof 2018], aufbereitet in [Loga et al. 2021] Anhang C).

¹⁰ Bei der Entwicklung des Verfahrens lagen für verschiedene Größen keine empirischen Daten vor, so dass bei der Festlegung von Rechenwerten und Unsicherheiten auf Expertenschätzung zurückgegriffen werden musste. Die Expertenschätzung orientiert sich an der Frage: Welches ist der höchste und welches ist der niedrigste Wert, der als „nicht ungewöhnlich“ angesehen wird? Die halbe Differenz zwischen beiden Schätzwerten wird als Maß für die Unsicherheit angesehen, der Mittelwert aus beiden geht als Rechenwert in die Energiebilanz ein. Die Herkunft der verwendeten Werte wurde aus Transparenzgründen jeweils genau dokumentiert, insbesondere auch um Ansatzpunkte für zukünftige Verbesserungen der empirischen Datenlage zu bieten.

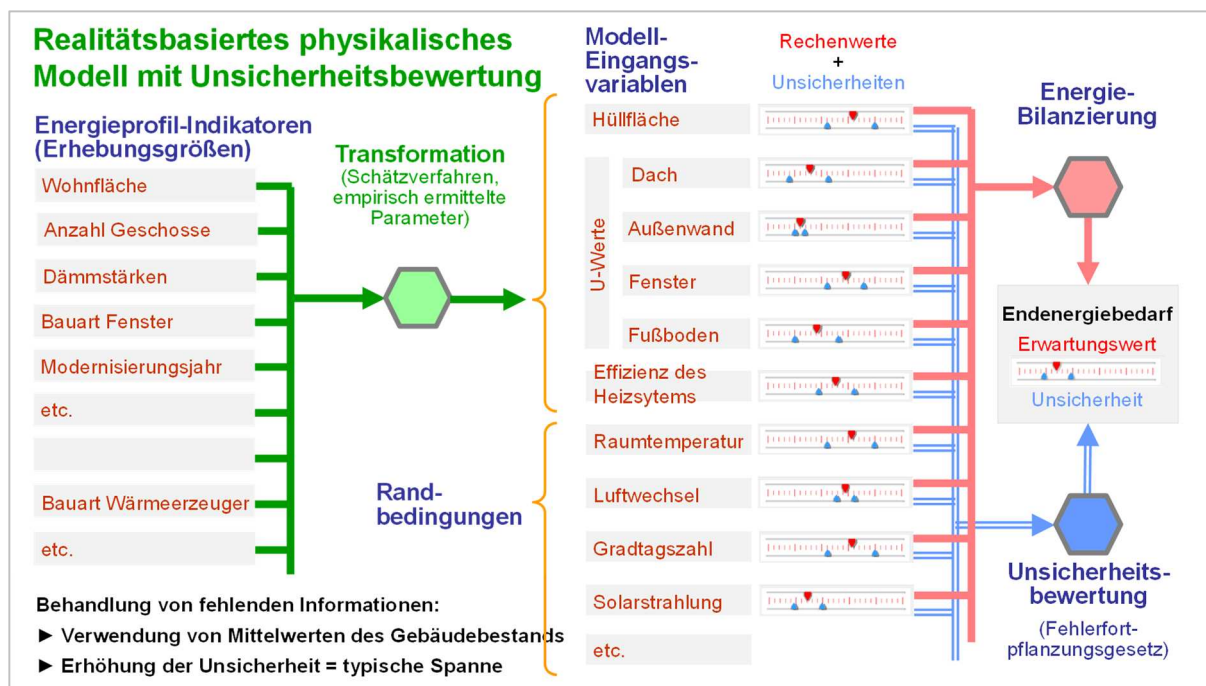


Bild 1: Schema der MOBASY-Realbilanzierung

Aus den Energieprofil-Indikatoren werden durch Anwendung von Schätzverfahren die das Gebäude beschreibenden Modelleingangsvariablen (Flächen, U-Werte, ...) ermittelt [Loga et al. 2005]. Weiterhin gehen möglichst realistische Werte für Nutzung und Klima ein. Die Energiebilanzierung ermittelt aus diesen Rechenwerten den Erwartungswert des Energiebedarfs (TABULA-Bilanzierung [Loga / Diefenbach 2013]). Parallel dazu wird aus der Unsicherheit der Eingangsgrößen und ihrem jeweiligen Einfluss auf den Energiebedarf mittels Gauß'schem Fehlerfortpflanzungsgesetz die Gesamtunsicherheit des berechneten Energiebedarfs ermittelt.

Zudem sind auch Modernisierungsmaßnahmen nicht immer vollständig dokumentiert oder können nachträglich vollständig erfasst werden. Ist beispielsweise für eine Modernisierungsmaßnahme das Jahr der Umsetzung, aber nicht die Dämmstärke bekannt, so wird ein Durchschnittswert des deutschen Wohngebäudebestands für nachträgliche Wärmedämmung in der entsprechenden Zeitperiode verwendet – abgeleitet aus den repräsentativen Stichprobenerhebungen des IWU [Cischinsky / Diefenbach 2018]. Die in die Berechnung einfließende Unsicherheit gibt dann die Spanne der im Gebäudebestand auftretenden Dämmstärken aus der Stichprobenerhebung wieder und erhöht sich natürlich deutlich gegenüber einem Fall, in dem die Dämmstärke bekannt ist. Die größere Unsicherheit dieses Eingangswerts erhöht gleichzeitig auch die Unsicherheit des erwarteten Energieverbrauchs.¹¹

¹¹ Die Auswirkung des Informationsstands auf die Unsicherheit des U-Wertes wird beispielhaft in [Loga / Behem 2021] auf S. 464 ff. anhand von Deckenkonstruktionen demonstriert. Eine Excel-Rechenhilfe für die Schätzung von U-Werten inklusive der Unsicherheiten findet sich auf der MOBASY-Website: <https://www.iwu.de/fileadmin/tools/uvalest-calcpad/UValEst-CalcPad.xlsx>. In [Loga et al. 2022b] wird gezeigt, wie sich die Art der Informationsquelle (Angaben von Gebäudeeigentümern bis hin zu Planungsdaten aus qualitätsgesicherten Modernisierungen) bei unterschiedlichen energetischen Standards auf die Unsicherheit des berechneten Energiebedarfs auswirkt.

Ergebnisse

Verbrauchsbenchmarks differenziert nach der Wärmegüte der Gebäudehülle

Die Bildung von Verbrauchsbenchmarks erfolgt auf Basis der auf Durchschnittsklima und Endenergie korrigierten Werte getrennt für die Bilanzräume <H+W> „Heizung + Warmwasser“ und <H> „Heizung“. Zunächst wird jedoch eine andere Analyse dargestellt, die beide Bilanzräume kombiniert, indem von den Kennwerten <H+W> der modellierte Warmwasserbedarf abgezogen wird.

Als Maß für die Bewertung der Wärmeschutzwirkung der Gebäudehülle wird eine „Wärmegüte“ definiert, die in Klassen eingeteilt ist. Die Klassengrenzen basieren auf dem „Wärmeleitwert“, der theoretische Wärmeverlust (Wärmetransferkoeffizient Transmission + Lüftung) in W/K, der für jedes Gebäude auf Basis der Zustandsindikatoren berechnet wurde. Anschaulich beschreibt der auf die Wohnfläche bezogene Wärmeleitwert, welchen Wärmeentzug ein Quadratmeter Wohnfläche bei einer bestimmten Temperaturdifferenz zwischen innen und außen erfährt. Die Gebäude wurden entsprechend ihrem Wärmeleitwert in Wärmegüte-Klassen A+ bis G eingeteilt. Für die Gebäude einer Klasse wurde jeweils der Mittelwert des gemessenen Energieverbrauchs und die Standardabweichung als Maß für die Streuung bestimmt.

Die Analyse der aus <H+W> und <H> zusammengeführten Werte zeigt, dass der mittlere Heizenergieverbrauch stark von der Wärmegüte abhängt (siehe Bild 2). So liegt er bei Altbau-Mehrfamilienhäusern ohne nachträgliche Dämmung (Wärmegüte-Klassen E und F) bei knapp 140 kWh pro m² Wohnfläche und Jahr. Gebäude mit einem herkömmlichen Dämmniveau (Wärmegüte-Klassen B und C) weisen einen Wert von ca. 70 kWh/(m²a) auf, liegen also 50 % niedriger. Gebäude mit ambitioniertem energetischem Standard (Wärmegüte-Klassen A und A+) haben einen mittleren Heizenergieverbrauch von ca. 35 kWh/(m²a), liegen also 75 % niedriger als unsanierte Altbauten.

Die Bildung von Verbrauchsbenchmarks erfolgt jeweils separat für die Bilanzräume <H+W> „Heizung + Warmwasser“ und <H> „Heizung“. Dabei wird die statistische Auswertung der Verbrauchswerte auf die relevanten Zustandsdaten zur Wärmedämmung, Fensterqualität und zum Vorhandensein von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erweitert. Zur anschaulichen Darstellung wird die Wirkung der Wärmedämmung in Form einer „äquivalenten Dämmstärke“ der gesamten Hülle ausgedrückt.¹²

¹² äquivalente Dämmstärke ermittelt aus dem mittleren U-Wert der opaken Bauteile, bei Annahme einer Wärmeleitfähigkeit der Dämmung von 0,035 W/(m·K) und einem Ausgangs-U-Wert von 1,5 W/(m²K), für Fußboden / Kellerdecke wird der U-Wert mit einem Faktor 0,5 gewichtet

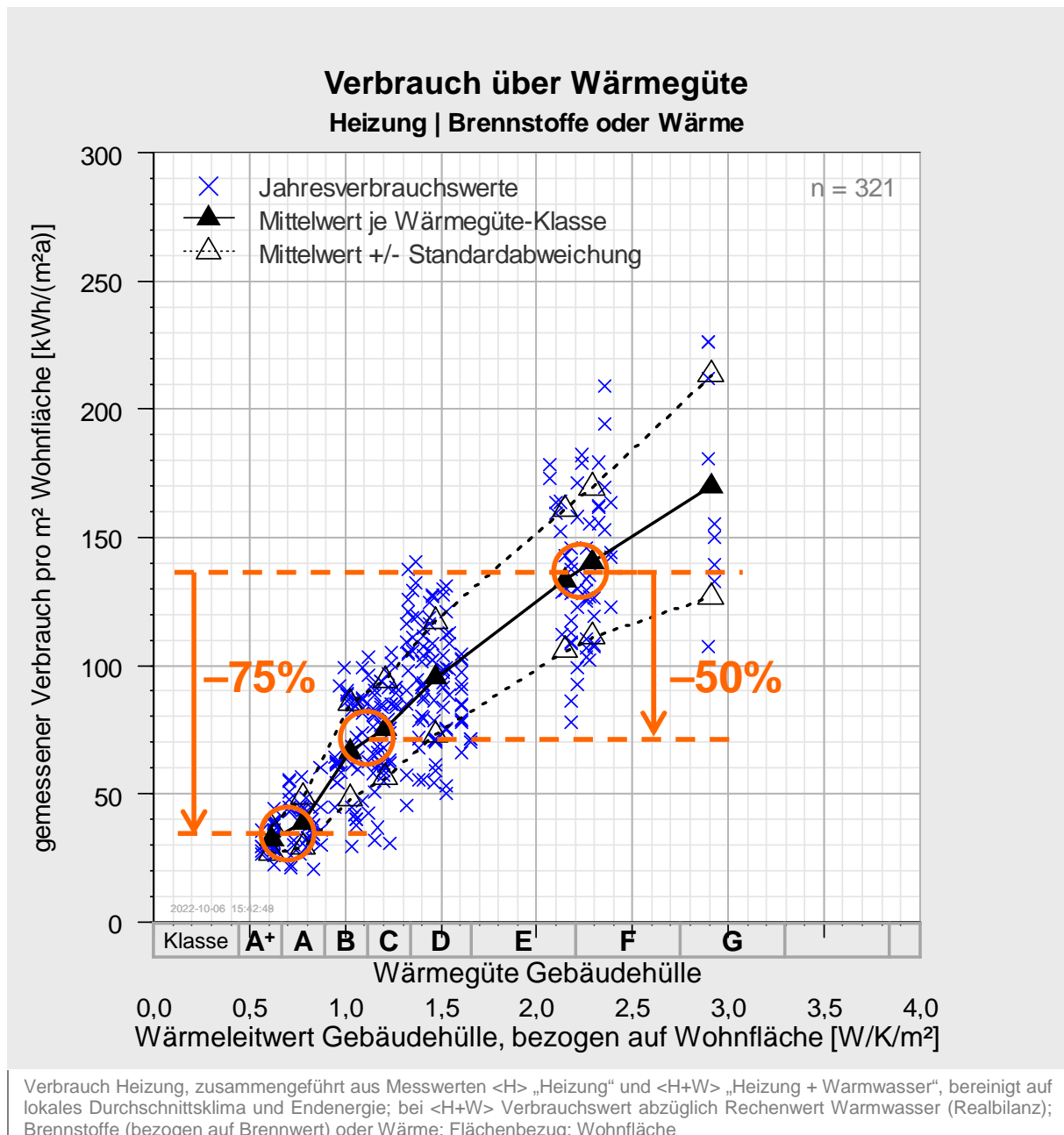


Bild 2 Bereinigter Heizenergieverbrauch (Endenergie) aufgetragen über der Wärmegüte

blaue Datenpunkte „x“: Einzelwerte des Endenergieverbrauchs Heizung und Auswertung je Klasse (Mittelwert und Streuung)

orange Markierungen: Verbrauchsunterschiede zwischen verschiedenen Niveaus der Wärmegüte (Gruppierung von Wärmegüte-Klassen):

E/F Altbau unsaniert

B/C Wärmedämmniveau „herkömmlich“

A+/A Wärmedämmniveau „ambitioniert“

Die entsprechenden Mittelwerte und Standardabweichungen zeigt das Benchmark-Diagramm in Bild 3 zusammen mit den auf die Wohnfläche bezogenen Verbrauchskennwerten:

- Unsanierte Bestandsgebäude finden sich in den Klassen E bis G, davon die Mehrzahl in den Klassen E und F (21 Gebäude). Nennenswerte nachträgliche Dämmungen liegen nicht vor, der mittlere Fenster-U-Wert liegt bei $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, was Fenstern mit der bis Mitte der 1990er Jahre üblichen Zweischeibenverglasung (ohne Beschichtung und Gasfüllung) entspricht. Der mittlere Endenergieverbrauch für Heizung liegt für die Klassen E und F bei knapp 140 kWh pro m^2 Wohnfläche. Der mittlere Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser liegt bei etwa $160 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.
- In der nächstbesseren Klasse D unterscheiden sich die U-Werte der Fenster im Mittel kaum von denen in den Gebäuden mit schlechterer Wärmegüte. Allerdings ist der Wärmeschutz der nicht-transparenten Bauteile deutlich besser (Mittelwert der äquivalenten Dämmstärke 13 cm). Die Verbrauchswerte dieser 25 Gebäude liegen im Mittel bei $88 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ohne Warmwasser und bei $135 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ mit Warmwasser.
- Die 20 Gebäude der Klasse C entsprechen bezüglich Wärmedämmung denen der Klasse D, jedoch liegt der mittlere Fenster-U-Wert bei $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, was Fenstern mit Zwei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung entspricht. Der gemessene Energieverbrauch liegt bei ca. $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ohne Warmwasser und bei ca. $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ mit Warmwasser.
- Die 15 Gebäude der Klasse B weisen mittlere Dämmstärken von 20 cm und einen mittleren Fenster-U-Wert von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf, was einer Mischung von Fenstern mit Zwei- und Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung entspricht. Der Verbrauch dieser Gebäude liegt bei ca. $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ohne Warmwasser und bei ca. $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ mit Warmwasser.
- In den Klassen A und A+ finden sich insgesamt 25 Gebäude, davon 6 etwas kompaktere Gebäude in der Klasse A+. Die äquivalenten Dämmstärken liegen im Mittel bei ca. 30 cm , die Fenster-U-Werte haben Werte von im Mittel ca. $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, was dem Dämmwert einer Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im gedämmten Passivhaus-Rahmen entspricht. In allen Gebäuden sind Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung eingebaut. Der gemessene Energieverbrauch der 25 Gebäude liegt im Mittel bei ca. $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Heizung und bei ca. $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Heizung und Warmwasser.

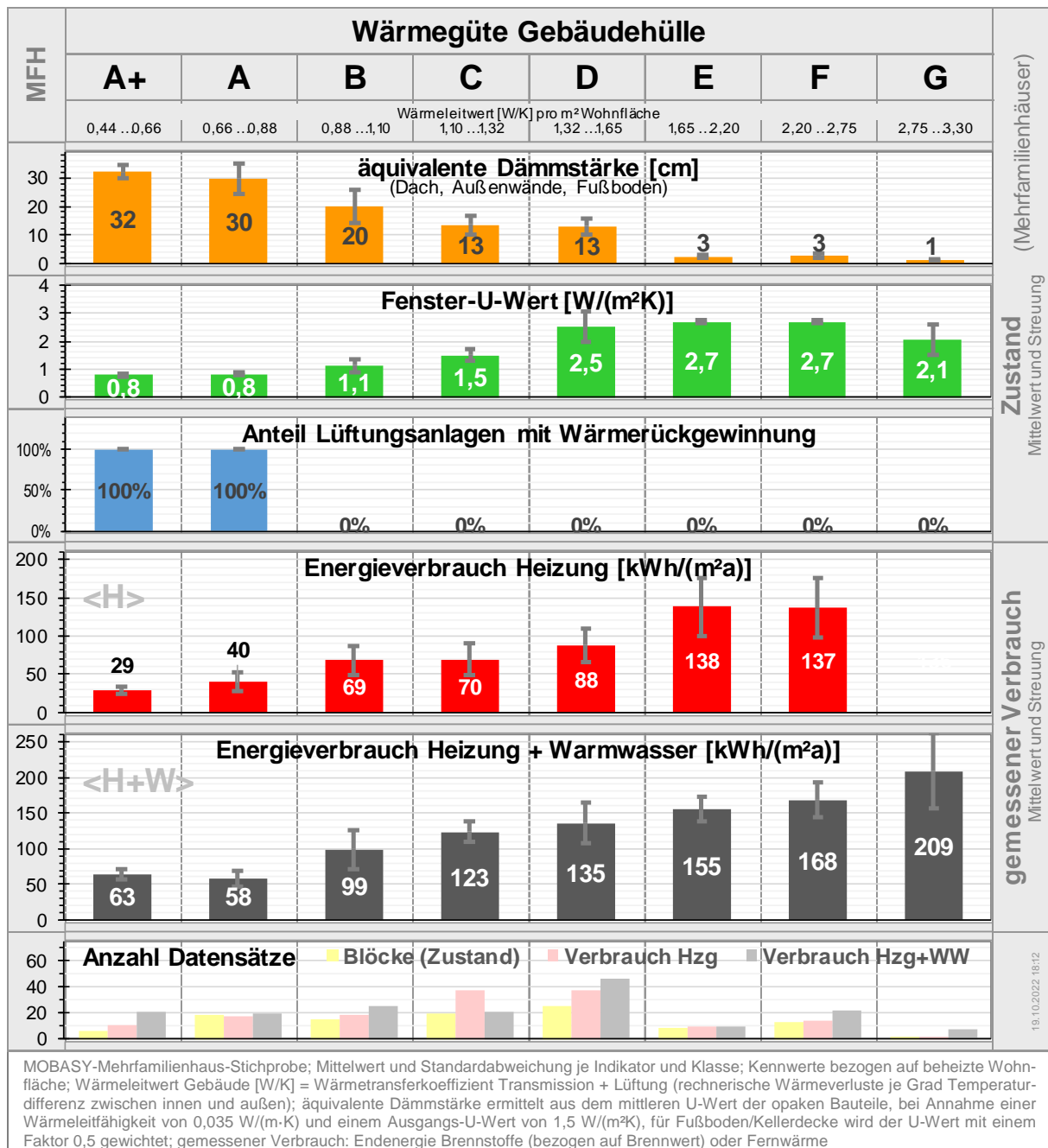


Bild 3: Statistische Auswertung der Zustands- und Verbrauchsdaten der 108 Gebäude, gruppiert nach Wärmegüte-Klassen¹³

Mehrfamilienhäuser mit konventioneller Wärmeversorgung (Fernwärme, fossile Brennstoffe)
Energiekennwerte bezogen auf beheizte Wohnfläche

¹³ Die Zahlenwerte der Auswertung je Klasse finden sich im Anhang (Tabelle 2).

Vergleich mit der Theorie

Die für die Gebäude gemessenen Verbrauchswerte wurden in einem weiteren Schritt mit den theoretischen Erwartungen verglichen. Dazu wurde für alle Gebäude auf der Grundlage der Energieprofil-Indikatoren mit dem oben beschriebenen physikalischen Modell der auf Grund ihres Zustands theoretisch zu erwartende Verbrauch berechnet, der im Folgenden als „Energiebedarf Realbilanz“ oder „Vergleichswert Energiebedarf“¹⁴ bezeichnet wird. Bild 4 zeigt die Einzelwerte des gemessenen Verbrauchs für den Bilanzraum <H> „Heizung“, aufgetragen über den jeweilig berechneten Realbilanz-Vergleichswerten (blaue „x“), Bild 5 das gleiche für den Bilanzraum <H+W> „Heizung + Warmwasser“. Für verschiedene Intervalle des Energiebedarfs wurden jeweils Mittelwert und Standardabweichung des Verbrauchs gebildet und im Diagramm eingetragen (ausgefüllte und leere dunkelrote Kreise).

Bei beiden Diagrammen ist ein starker Zusammenhang zwischen Verbrauch und Bedarf zu erkennen, die Mittelwerte liegen relativ nahe an der jeweiligen Winkelhalbierenden (Koordinaten mit exakter Übereinstimmung von Verbrauch und Bedarf). Lediglich für den Bilanzraum <H> „Heizung“ im Intervall 150 bis 175 kWh/(m²a) finden sich die mittleren Verbrauchswerte ca. 20 % unter den Bedarfswerten, allerdings liegen diesem Mittelwert nur acht Verbrauchswerte zu Grunde.¹⁵

Zusätzlich zeigen die Diagramme die Mittelwerte der Unsicherheiten des Bedarfs je Intervall (horizontale grüne Linien). Es ist erkennbar, dass die mittlere Unsicherheit des berechneten Energiebedarfs recht gut zur Streuung des gemessenen Energieverbrauchs passt: Die Enden der horizontalen grünen Linien erreichen grob die dunkelroten gestrichelten Linien (Verbindungslinien zwischen den Werten Verbrauch plus Standardabweichung und Verbindungslinien zwischen den Werten Verbrauch minus Standardabweichung).

Aus theoretischer Sicht ist die Übereinstimmung der Verbrauchsstreuung mit der Bedarfsunsicherheit plausibel: Betrachtet man eine große Zahl von Gebäuden, die zufällig den gleichen Energiebedarf haben, so kann eine Streuung des Verbrauchs erwartet werden, der physikalisch durch verschiedene Ausprägungen der Nutzung, der Betriebsführung und des lokalen Klimas, aber auch durch unterschiedliche Materialkennwerte (trotz gleicher Ansätze für die Berechnung) erklärt werden kann. Die vermuteten Ursachen der Streuung des Verbrauchs sind also identisch mit den Einflüssen auf die Unsicherheit der Eingangsgrößen des physikalischen Modells.

¹⁴ Der Zusatz „Vergleichswert“ zum Energiebedarf weist hier darauf hin, dass (a) in der Energiebilanzierung dem Verbrauchsjahr am Standort entsprechende Klimadaten (Temperaturen und Solarstrahlung) verwendet werden und (b) aus der Energiebilanzierung Werte für ein dem Messpunkt der Verbrauchsmessung äquivalenten Bilanzpunkt ausgegeben werden.

¹⁵ Die in den Diagrammen in Bild 4 und Bild 5 dargestellten Energiekennwerte sind auf die Referenzfläche des TABULA-Verfahrens bezogen, die der Netto-Raumfläche entspricht und die die Basis für die in [Loga et al. 2022a] durchgeführten Analysen darstellt. Mit einem Pauschalfaktor 1,1 kann man die Kennwerte auf den Wohnflächenbezug umrechnen. .

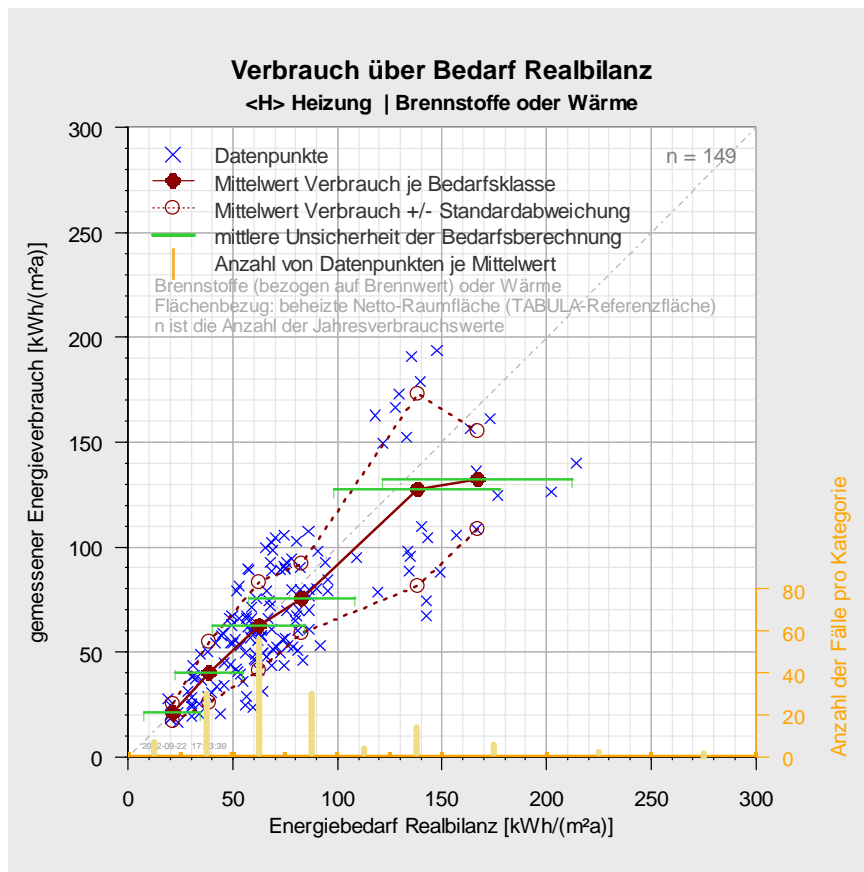


Bild 4:
Gemessener Energieverbrauch aufgetragen über dem berechneten Energiebedarf (Vergleichswerte Realbilanz) für den Bilanzraum <H> „Heizung“

Energiekennwerte bezogen auf beheizte Netto-Raumfläche

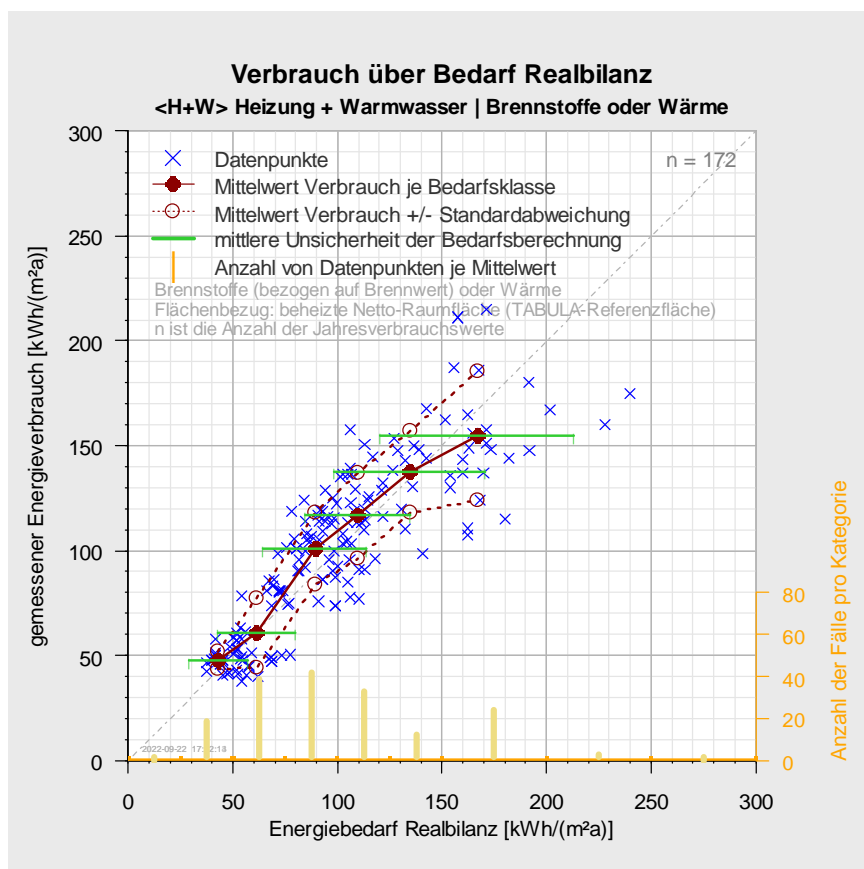


Bild 5:
Gemessener Energieverbrauch aufgetragen über dem berechneten Energiebedarf (Vergleichswerte Realbilanz) für den Bilanzraum <H+W> „Heizung und Warmwasser“

Energiekennwerte bezogen auf beheizte Netto-Raumfläche

Die mit dem physikalischen Modell ermittelten Erwartungswerte und Erwartungsbereiche können nun auch differenziert nach der Wärmegüte statistisch ausgewertet und zum Vergleich in das Verbrauchsbenchmark-Diagramm eingetragen werden (Bild 6). Es zeigt sich, dass der für die einzelnen Wärmegüte-Klassen gemittelte Verbrauch insgesamt recht gut mit dem jeweiligen Erwartungswert des physikalischen Modells übereinstimmt. Weiterhin ist hier noch einmal je Klasse deutlich erkennbar, dass die Streuung der Einzelverbrauchswerte etwa ähnlich groß ist wie mittlere Unsicherheit (Erwartungsbereich) des Modells, bezogen auf die Prognose für ein einzelnes Gebäude.

Es kann also festgehalten werden, dass sowohl die Verbrauchsunterschiede zwischen den Wärmegüte-Klassen als auch die Streuung des Verbrauchs je Klasse den theoretischen Erwartungen entsprechen.

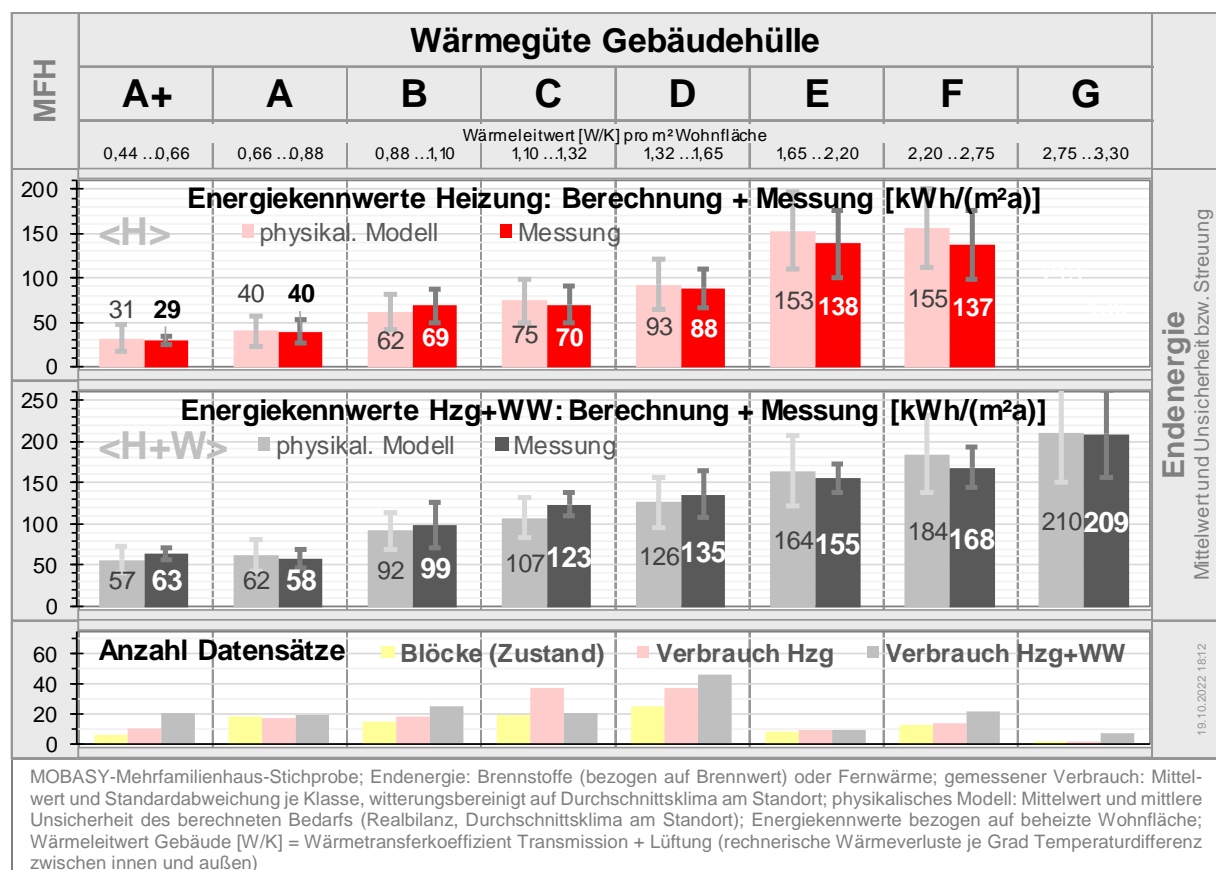


Bild 6: Verbrauchskennwerte Endenergie aus Bild 3 (Mittelwerte und Streuungen je Wärmegüte-Klasse), ergänzt um Prognosewerte des physikalischen Modells (Bedarfskennwerte Endenergie) aus der MOBASY-Realbilanzierung (Erwartungswert und Erwartungsbereich, bezogen auf ein einzelnes Gebäude)

Mehrfamilienhäuser mit konventioneller Wärmeversorgung (Fernwärme, fossile Brennstoffe)
Energiekennwerte bezogen auf beheizte Wohnfläche

Fazit und Ausblick

Die Analyse der Daten von über 100 Geschosswohnbauten belegt eine starke Abhängigkeit des Energieverbrauchs vom Dämmstandard. Gebäude mit einem in üblicher Qualität verbesserten Wärmeschutz zeigen einen um etwa 50 % niedrigeren Heizenergieverbrauch. Bei Gebäuden mit ambitionierten Dämmstärken, 3-fach-Wärmeschutzverglasung und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung liegt der Heizenergieverbrauch sogar um etwa 75 % niedriger. Die Reduzierung der Wärmeströme durch die Gebäudehülle hat also einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch. Je höher der Ambitionsgrad beim Wärmeschutz, desto stärker sinken die gemessenen Verbräuche. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die Verbrauchsunterschiede gut mit theoretischen Erwartungen übereinstimmen.

Die für die Analysen verwendete Methodik hat sich im Grundsatz bewährt. Die Energieprofil-Indikatoren konnten durch die zuständigen Mitarbeiter in den drei Wohnungsunternehmen aus vorhandenen Daten tabellarisch bereitgestellt werden. Damit war eine gebäudeweise Zusammenführung mit den Verbrauchsdaten aus der Nebenkosten- bzw. Energieabrechnung möglich. Auf Basis der Energieprofil-Indikatoren konnte eine Einordnung der Gebäude in Wärmegüte-Klassen und eine statistische Auswertung des Energieverbrauchs in Form von Verbrauchsbenchmarks vorgenommen werden. Die zusätzliche statistische Auswertung des energetischen Zustands liefert anschauliche Informationen, auf welche Weise die einzelnen Wärmegüte-Klassen im Mittel erreicht werden.

Die nach dem Dämmstandard differenzierten Verbrauchsbenchmarks konnten darüber hinaus durch ein physikalisches Modell plausibilisiert werden. In dem Modell werden für alle Eingangsdaten möglichst realistische Werte angesetzt und deren Unsicherheiten geschätzt. Neben der Berechnung des Energiebedarfs ist so auch eine Einschätzung von dessen Unsicherheit möglich. Eine Besonderheit dieses Modells ist, dass auch bei unvollständigen oder unsicheren Informationen zum Zustand sinnvolle Ergebnisse abgeleitet werden können: An diesen Stellen wird von einer größeren Bandbreite möglicher Zustände ausgegangen und mit dem Mittelwert dieser Bandbreite der Energiebedarf berechnet. Diesem Prognosewert wird dann eine größere Unsicherheit zugewiesen als bei vollständig und detailliert erfassten Daten.

Insgesamt ist es gelungen ein konsistentes Bild der Wirkung des baulichen Wärmeschutzes auf den Energieverbrauch bei den betrachteten Mehrfamilienhäusern aufzuzeigen. Eine nicht zu unterschätzende Voraussetzung für dieses Resultat ist die Qualitätssicherung der Zustands- und Verbrauchsdaten. Durch die Zusammenarbeit mit den drei Wohnungsunternehmen konnte ein mehrstufiges Überprüfungsverfahren für fehlende Daten oder unplausible Ergebnisse realisiert werden.

Bei der Weiterentwicklung und -verbreitung der Methodik sollte zum einen eine größere Bandbreite von Wärmeversorgungstypen anvisiert werden – insbesondere wären in größerer Anzahl Systeme mit thermischen Solaranlagen sowie Elektro-Wärmepumpen mit und ohne PV-Anlagen zu berücksichtigen.

Des Weiteren wäre eine Ausdehnung auf den Bereich der Einfamilienhäuser sinnvoll, weil auch hier nach Wärmedämmstandard differenzierte Vergleichswerte für den Energieverbrauch fehlen.

Im Bereich der Wohnungswirtschaft liefern die Verbrauchsbenchmarks Vergleichswerte zur Einordnung des Energieverbrauchs von einzelnen Gebäuden, z. B. im Rahmen eines Verbrauchscontrollings, sowie belastbare Prognosewerte für die strategische Entwicklung von Gebäudeportfolios zur Minimierung von Treibhausgasemissionen und Verbrauchskosten. Damit Wohnungsunternehmen ihre Gebäude realistisch bewerten und den Erfolg ihrer Modernisierungsmaßnahmen kontrollieren können, müssen sie außer den Verbrauchsdaten die wichtigsten Informationen zu ihren Gebäuden und den jährlich durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen (Dämmstärke, Flächenanteil, Fenstertyp, Wärmeerzeugertyp) in einer Bestandstabelle oder -datenbank erfassen.¹⁶

Dabei könnte die Politik insgesamt die Rahmenbedingungen für das Tracking des energetischen Zustands und des Verbrauchs verbessern: Es wäre beispielsweise ein großer Gewinn, wenn einheitlich definierte Indikatoren, die den physischen Zustand von Gebäude und Wärmeversorgung beschreiben, als verbindliche Elemente des Energieverbrauchs- und des Energiebedarfsausweises definiert würden („Statistikblatt“). Damit würde erreicht, dass überall, wo Energieausweise erstellt werden, gleichzeitig die Informationslage zum Zustand statistisch auswertbar ist. Dies würde eine gute Grundlage für eine breite Umsetzung von Aktivitäten zum Verbrauchscontrolling, zur Bildung von Benchmarks und zur Validierung der Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen darstellen und damit insgesamt die Transparenz der im Gebäudesektor ablaufenden Prozesse verbessern.

Danksagung

Die in diesem Beitrag beschriebenen Arbeiten sind Teil des von der Bundesregierung geförderten Forschungsprojekts MOBASY¹⁷. Die Analyse der Wohngebäudestichprobe wurde in Zusammenarbeit mit drei Wohnungsunternehmen durchgeführt: bauverein AG Darmstadt, Wohnbau Gießen und Nassauische Heimstätte Wohnstadt Frankfurt/Main. Wir bedanken uns sehr herzlich für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung!

¹⁶ Als Vorlage kann z.B. die Excel-Tabelle mit den in MOBASY verwendeten Energieprofil-Indikatoren verwendet werden: https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/Energieprofil-Indikatoren_Erfassungstabellen_Beispieldaten.xlsx

¹⁷ MOBASY – Modellierung der Bandbreiten und systematischen Abhängigkeiten des Energieverbrauchs zur Anwendung im Verbrauchscontrolling von Wohngebäudebeständen; gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz Verbundvorhaben Solares Bauen FKZ 03SBE0004A; Projektlaufzeit: 11/2017 bis 4/2023; mehr Informationen unter: www.iwu.de/forschung/energie/2017/mobasy/

Referenzen

- [Cischinsky / Diefenbach 2018] Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2018.
www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Endbericht_Datenerhebung_Wohngebäudebestand_2016.pdf
- [Loga / Diefenbach 2013] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus (2013): TABULA Calculation Method – Energy Use for Heating and Domestic Hot Water. Reference Calculation and Adaptation to the Typical Level of Measured Consumption; TABULA documentation; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt / Germany – January 2013; ISBN 978-3-941140-31-8
www.episcope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_CommonCalculationMethod.pdf
- [Loga et al. 2005] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf (2005): Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden („Kurzverfahren Energieprofil“); Untersuchung gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2005 www.iwu.de/forschung/energie/kurzverfahren-energieprofil/
- [Loga et al. 2019] Loga, Tobias; Stein, Britta; Hacke, Ulrike; Müller, André; Großklos, Marc; Born, Rolf; Renz, Ina; Cischinsky, Holger; Hörner, Michael; Weber, Ines (2019): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen; Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); BBSR-Online-Publikation 04/2019; Bonn, März 2019 / ISSN 1868-0097
www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2019/bbsr-online-04-2019-dl.pdf
- [Loga et al. 2020a] Loga, Tobias; Swiderek, Stefan; Grafe, Michael (2020). Modellprojekt Energieverbrauchsbenchmarks. Soll-/Ist-Vergleich des Energieverbrauchs zur Evaluierung und Steigerung der Effizienz von Energiesparmaßnahmen im Praxisalltag eines Wohnungsunternehmens; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2020
https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebaeudebestand/prj/2019_IWU_LogaswiderekGrafe_ModellprojektEnergieverbrauchsbenchmarks_NHW.pdf
- [Loga et al. 2020b] Loga, Tobias; Repp, Monika; Swiderek, Stefan (2020). Verbrauchsbenchmarks – ein Soll-Ist-Vergleich für Wohnungsunternehmen. Tagungsband der 12. EffizienzTagung Bauen + Modernisieren 2020 (13. + 14.11.2020, Online-Tagung).
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25524.78724>
- [Loga et al. 2020c] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Landgraf, Katrin (2020): Klimadaten für die Realbilanzierung. Grundlagen des Tools „Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx“. (MOBASY Teilbericht) 73 S.; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2020; ISBN 978-3-941140-66-0
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2020_IWU_LogasGrossklosLandgraf_MOBASYTeilbericht-KlimadatenRealbilanzierung.pdf; <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25695.28324>
- [Loga et al. 2021] Loga, Tobias; Großklos, Marc; Müller, André; Swiderek, Stefan; Behem, Guillaume (2021): Realbilanzierung für den Verbrauch-Bedarf-Vergleich (MOBASY-Teilbericht). Realistische Bilanzierung und Quantifizierung von Unsicherheiten als Grundlage für den Soll-Ist-Vergleich beim Energieverbrauchscontrolling; IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2021; ISBN 978-3-941140-67-7;
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2021_IWU_LogasEtAl_MOBASY-Realbilanzierung-Verbrauch-Bedarf-Vergleich.pdf; <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22472.24328>
- [Loga / Behem 2021] Loga, Tobias., Behem, Guillaume (2021). Target/actual comparison and benchmarking used to safeguard low energy consumption in refurbished housing stocks; Proceedings of the eceee Summer Study 2021.
https://www.researchgate.net/publication/355124720_Targetactual_comparison_and_benchmarking_used_to_safeguard_low_energy_consumption_in_refurbished_housing_stocks
- [Loga et al. 2022a] Loga, Tobias; Behem, Guillaume; Swiderek, Stefan; Stein, Britta (2022): Verbrauchsbenchmarks für unterschiedliche Dämmstandards bei vermieteten Mehrfamilienhäusern – Statistische Auswertung der MOBASY-Mehrfamilienhaus-Stichprobe (MOBASY-Teilbericht). IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt; ISBN 978-3-941140-73-8
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/mobasy/2022_IWU_LogasEtAl_Verbrauchsbenchmarks-Daemmstandards_MOBASY.pdf
- [Loga et al. 2022b] Loga, Tobias; Stein, Britta; Behem, Guillaume (2022): Use of Energy Profile Indicators to Determine the Expected Range of Heating Energy Consumption; Proceedings of the CESB22 Conference (Central Europe towards Sustainable Building – Prague – 4 to 6 July 2022); to be published
- [Renhof 2018] Renhof, Moritz: Ermittlung von realistischen U-Werten und Wärmebrückenzuschlägen für Wohngebäude im Bestand; Masterarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar / Fakultät Bauingenieurwesen / Studiengang Bauphysik und energetische Gebäudeoptimierung / Prof. Dr.-Ing. Conrad Völker; Weimar 2018

Anhang

Energieprofil
Fragebogen Gebäude

Gebäude-Einheit

Spezifikation

Postleitzahl

Baujahr

Hier dargestellter Zustand: ab Jahr

Jahr der Erfassung bis Jahr

Anzahl Blöcke

Häuser

beheizte Wohnfläche m²

Wohnungen

Vollgeschosse

(ohne Dach- und Kellergeschoss)

lichte Raumhöhe m

(Eintrag nur wenn < 2,30 m oder > 2,70 m)

direkt angrenzende Nachbargebäude

keins (freistehend)

auf einer Seite

auf zwei Seiten

keine Angabe / unbekannt

Grundriss

kompakt

normal

komplex / langgestreckt

keine Angabe / unbekannt

Dach

Flachdach oder flach geneigtes Dach

Dachgeschoss unbeheizt

Dachgeschoss teilweise beheizt

Dachgeschoss voll beheizt

keine Angabe / unbekannt

Dachform

einfach Gauen / komplex unbekannt

Keller

nicht unterkellert

Kellergeschoss unbeheizt

Kellergeschoss teilweise beheizt

Kellergeschoss voll beheizt

keine Angabe / unbekannt

Kellerboden und -wände gedämmt

Thermische Hülle (nicht-transparente Elemente)

	Konstruktionsart		Dämmung								
	massiv	Holz	keine	original	Modernisierung keine Angabe / unbekannt	Jahr der Modernisierung	Innendämmung der Wände	Dämmstärke	% der Fläche		
Dach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	%
oberste Geschossd.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	%
Außenwände	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	%
Fußboden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	%

bei ungedämmten Außenwänden: Dämmung von außen möglich? ja teilweise nein k.A. / unbekannt

Fenster

% der Fensterfläche	Verglasung					Rahmen					gedämmter Rahmen (bei 3-fach-WS-Vergl.)	Jahr des Fenstereinbaus (ca.):	
	1 Scheibe	2 Scheiben	3 Scheiben	keine Angaben / unbekannt	Wärmeschutz-Vergl.	Holzrahmen	Kunststoffrahmen	Alu- oder Stahlrahmen	andere	unbekannt			
Haupttyp Fenster	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>
weiterer Typ Fenster <input style="width: 50px;" type="text"/> %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/>

(Rest = Haupttyp Fenster) (U ≤ 0.8 W/(m²K))

[EnergyProfile.xism]Form_Building
26.05.2022 00:05

Bild 7: Formular mit Energieprofil-Indikatoren für die Datenerfassung Gebäude
 Download der PDF-Datei mit beiden Formularen (mit aktiven Formularfeldern):
https://www.iwu.de/fileadmin/tools/energyprofile/EnergieProfil_FormularGebaeudeAnlagentechnik_Erfassung.pdf

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

[EnergyProfile.xlsm]Form.System

27.05.2022 23:14

Bild 8: Formular mit Energieprofil-Indikatoren für die Datenerfassung Anlagentechnik

Tabelle 2: Zahlenwerte für die Analyse der Mehrfamilienhaus-Stichprobe differenziert nach Wärmegüte-Klassen

Flächenbezug: Netto-Raumfläche der beheizten Geschosse (TABULA-Referenzfläche, pauschal ermittelt aus der Wohnfläche durch Anwendung des Faktors 1,1, siehe [Loga / Diefenbach 2013]);

Erläuterung der Abkürzungen: „StdAbw“ = Standardabweichung; „UnsichMittelw“ = Unsicherheit des Mittelwertes

Wärmegüte Gebäudehülle	Klasse		A+	A	B	C	D	E	F	G
Wärmeleitwert pro m ² Referenzfläche	Intervall von	W/(m ² K)	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50
	Intervall bis	W/(m ² K)	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50	3,00
Wärmeleitwert pro m ² Wohnfläche	Intervall von	W/(m ² K)	0,44	0,66	0,88	1,10	1,32	1,65	2,20	2,75
	Intervall bis	W/(m ² K)	0,66	0,88	1,10	1,32	1,65	2,20	2,75	3,30
entspricht Heizlast (Temp. außen -10°C / innen 20 °C)	Intervall von	W/m ²	12	18	24	30	36	45	60	75
	Intervall bis	W/m ²	18	24	30	36	45	60	75	90
Gebäudeeigenschaften										
Datensätze für Gebäude	Anzahl		6	19	15	20	25	8	13	2
Gebäudeblöcke	Anzahl		6	19	18	22	25	8	13	2
Häuser (Adressen / Hauseingänge)	Anzahl		7	34	43	40	49	15	20	3
Wohnungen	Anzahl		259	386	393	559	501	143	134	30
	Mittelwert	(pro Datensatz)	43	20	26	28	20	18	10	15
	Mittelwert	pro Block	43	20	22	25	20	18	10	15
	Mittelwert	pro Haus	37	11	9	14	10	10	7	10
Referenzfläche = Netto-Raumfläche (TABULA-Definition)	Summe	m ²	20252	26895	28581	40784	35855	10764	9513	1118
	Mittelwert	m ² /Datensatz	6073	13004	9093	25872	22665	3526	3314	606
	StdAbw	m ² /Datensatz	2479	2983	2348	5785	4533	1247	919	429
Wohnfläche	Summe	m ² /Datensatz	18412	24449	25983	37076	32598	9786	8648	1016
	Mittelwert	m ² /Datensatz	5521	11822	8266	23520	20604	3206	3012	551
	StdAbw	m ² /Datensatz	2254	2712	2134	5259	4121	1133	836	390
	Mittelwert	m ² /Wohnung	71	63	66	66	65	68	65	34
Anzahl Vollgeschosse	Mittelwert		9,3	7,8	5,0	5,5	3,9	3,8	3,1	3,0
	StdAbw		4,2	3,8	2,5	2,4	1,3	0,5	0,5	0,0
Hüllfläche pro m ² Referenzfläche	Mittelwert	m ² /m ²	1,29	1,44	1,43	1,41	1,48	1,51	1,72	1,93
	StdAbw	m ² /m ²	0,10	0,19	0,15	0,20	0,17	0,09	0,15	0,07
Baujahr	Mittelwert	wenn bekannt	1980	1961	1970	1969	1963	1967	1967	1940
	StdAbw	wenn bekannt	23	15	19	8	6	5	9	21
	Anzahl	wenn bekannt	6	19	14	16	22	8	13	2
Jahr der Modernisierung Dachfläche	Mittelwert	wenn bekannt	2017	2014	2011	2008	2012	0	2011	0
	StdAbw	wenn bekannt	1	2	3	2	2	0	0	0
	Anzahl	wenn bekannt	4	14	7	14	4	0	1	0
Jahr der Modernisierung oberste Geschossdecke	Mittelwert	wenn bekannt	0	2012	2015	2011	2012	0	0	0
	StdAbw	wenn bekannt	0	1	1	5	2	0	0	0
	Anzahl	wenn bekannt	0	3	3	7	19	0	0	0
Jahr der Modernisierung Außenwand	Mittelwert	wenn bekannt	2017	2014	2012	2009	2012	0	0	0
	StdAbw	wenn bekannt	1	2	3	3	2	0	0	0
	Anzahl	wenn bekannt	4	17	10	18	25	0	0	0
Jahr der Modernisierung Fußboden / Kellerdecke	Mittelwert	wenn bekannt	2017	2014	2012	2010	2013	0	0	0
	StdAbw	wenn bekannt	1	2	3	3	2	0	0	0
	Anzahl	wenn bekannt	4	17	10	16	11	0	0	0
Jahr der Fensterinstallation	Mittelwert	wenn bekannt	2016	2013	2009	2005	1993	1991	1990	1990
	StdAbw	wenn bekannt	3	2	4	5	10	2	3	18
	Anzahl	wenn bekannt	5	19	12	16	15	8	13	2
U-Wert opaker Elemente	Mittelwert	W/(m ² K)	0,102	0,112	0,163	0,237	0,239	0,720	0,702	1,000
	StdAbw	W/(m ² K)	0,006	0,018	0,032	0,062	0,053	0,057	0,084	0,104
	UnsichMittelw	W/(m ² K)	0,002	0,004	0,008	0,014	0,011	0,020	0,023	0,074
Äquivalente Dämmstärke opaker Elemente	Mittelwert	cm	32,1	29,7	20,1	13,5	13,0	2,6	2,7	1,2
	StdAbw	cm	2,1	5,0	4,9	4,3	3,2	0,4	0,7	0,4
	UnsichMittelw	cm	0,9	1,1	1,3	1,0	0,6	0,1	0,2	0,3
Fenster-U-Wert	Mittelwert	W/(m ² K)	0,78	0,83	1,12	1,50	2,51	2,69	2,68	2,05
	StdAbw	W/(m ² K)	0,04	0,07	0,25	0,23	0,63	0,04	0,06	0,78
	UnsichMittelw	W/(m ² K)	0,02	0,02	0,06	0,05	0,13	0,01	0,02	0,55
Vorhandensein von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	Mittelwert	Anteil installiert	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	StdAbw	Anteil installiert	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	UnsichMittelw	Anteil installiert	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Wärmegüte Gebäudehülle Wärmeleitwert pro m ² Referenzfläche	Klasse		A+	A	B	C	D	E	F	G
	Intervall von	W/(m ² K)	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50
	Intervall bis	W/(m ² K)	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50	3,00
Wärmeleitwert pro m ² Wohnfläche	Intervall von	W/(m ² K)	0,44	0,66	0,88	1,10	1,32	1,65	2,20	2,75
	Intervall bis	W/(m ² K)	0,66	0,88	1,10	1,32	1,65	2,20	2,75	3,30
entspricht Heizlast (Temp. außen -10°C / innen 20 °C)	Intervall von	W/m ²	12	18	24	30	36	45	60	75
	Intervall bis	W/m ²	18	24	30	36	45	60	75	90
Gemessener Energieverbrauch und berechneter Energiebedarf <H+W> Heizung und Warmwasser										
gemessener Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser	Mittelwert	kWh/(m ² a)	57,6	52,4	89,6	112,1	123,0	140,8	152,8	190,1
	StdAbw	kWh/(m ² a)	6,7	10,5	25,8	12,6	25,8	15,5	21,7	48,8
Realbilanzierung: Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser	Mittelwert	kWh/(m ² a)	51,6	56,0	83,4	97,5	114,7	149,3	167,5	191,3
	StdAbw	kWh/(m ² a)	5,2	2,5	10,8	11,0	15,9	22,9	20,3	19,8
	mittlere Unsicherheit	kWh/(m ² a)	14,2	17,0	20,0	22,1	27,3	38,5	42,8	54,9
Verhältnis Verbrauch zu Bedarf	Verhältnis der Mittelwerte		1,12	0,94	1,07	1,15	1,07	0,94	0,91	0,99
Wertepaare Verbrauch und Bedarf	Anzahl		21	20	25	21	46	10	22	7
<H> Heating										
gemessener Energieverbrauch für Heizung	Mittelwert	kWh/(m ² a)	26,6	36,2	62,3	63,4	80,4	125,6	124,4	123,7
	StdAbw	kWh/(m ² a)	4,3	11,3	17,0	19,1	20,0	33,8	35,0	4,3
Realbilanzierung: Endenergiebedarf für Heizung	Mittelwert	kWh/(m ² a)	28,5	36,2	56,3	67,8	84,2	139,0	141,2	193,8
	StdAbw	kWh/(m ² a)	2,2	3,7	7,0	8,6	12,5	17,0	12,8	0,0
	mittlere Unsicherheit	kWh/(m ² a)	13,7	15,5	18,1	22,4	25,9	40,1	40,5	58,0
Verhältnis Verbrauch zu Bedarf	Verhältnis der Mittelwerte		0,94	1,00	1,11	0,93	0,96	0,90	0,88	0,64
Wertepaare Verbrauch und Bedarf	Anzahl		11	17	19	38	38	10	14	2
Rechenwerte für die Realbilanzierung										
effektive Raumtemperatur in der Heizperiode (zeitlich und räumlich gemittelt)	Mittelwert	°C	20,9	20,8	20,7	20,5	20,3	19,6	19,4	18,8
	StdAbw	°C	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
effektive Gradtagzahl (effektive Raumtemperatur, Heizgrenze 12°C)	Mittelwert	Kd/a	3608	3497	3323	3285	3128	3231	3281	3338
	StdAbw	Kd/a	101	24	151	166	93	362	349	283
Wärmebrückenzuschlag	Mittelwert	W/(m ² K)	0,01	0,09	0,07	0,07	0,09	0,05	0,05	0,05
	StdAbw	W/(m ² K)	0,01	0,02	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
Luftwechselrate, verursacht durch Infiltration	Mittelwert	1/h	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
	StdAbw	1/h	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Luftwechselrate, verursacht durch eine Lüftungsanlage	Mittelwert	1/h	0,35	0,35	0,15	0,06	0,08	0,00	0,02	0,00
	StdAbw	1/h	0,00	0,00	0,13	0,11	0,12	0,00	0,07	0,00
Luftwechselrate, verursacht durch Fensteröffnung	Mittelwert	1/h	0,10	0,10	0,25	0,34	0,32	0,40	0,38	0,40
	StdAbw	1/h	0,03	0,00	0,13	0,11	0,12	0,00	0,08	0,00
gesamte Luftwechselrate	Mittelwert	1/h	0,54	0,55	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,50
	StdAbw	1/h	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Wärmerückgewinnung durch Lüftungsanlage	Mittelwert	1/h	0,60	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	StdAbw	1/h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wärmeverlust-äquivalente Luftwechselrate	Mittelwert	1/h	0,33	0,34	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,50