

**Passivhaus im Bestand –  
Vergleich des gemessenen Heizwärmeverbrauchs  
mit dem berechneten Heizwärmebedarf  
bei vom Land Hessen geförderten Vorhaben**

## Das Förderangebot "Energetische Modernisierung zum Passivhaus im Bestand"

Die umfassende energetisch optimierte Modernisierung mit passivhaustauglichen Komponenten fördert das Land Hessen seit Ende 2008. Mit der Modernisierung soll der Heizwärmebedarf von Gebäuden, die sich in einem energetisch unsaniertem Zustand befinden, auf maximal 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) verringert werden.

Der Heizwärmebedarf der Gebäude wurde nach dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) berechnet. Die Anforderungen, die in die Berechnung einfließen, fanden Eingang in die Planung und Umsetzung der Gebäudemodernisierung. Der Energiekennwert spiegelt aber nur die Heizwärmebilanz eines Gebäudes wieder, das mit standardisierten und teilweise angenommenen Randbedingungen berechnet wurde. Über die in der Praxis ausgeführte Qualität der Bauausführung oder auch den Einfluss des tatsächlichen Nutzerverhaltens im Hinblick auf die Beheizung und Lüftung kann dieser theoretische Wert keinen Aufschluss geben.

Zum Erhalt praxisrelevanter Daten ist die Auswertung des gemessenen Heizwärmeverbrauchs unabdingbar. Die Zuwendungsempfänger wurden daher verpflichtet, den Heizwärmeverbrauch des Gebäudes über einen Zeitraum von zwei Jahren zu erfassen und die Werte anschließend zur Verfügung zu stellen.

Die vorliegende Ausarbeitung wurde vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung in Auftrag gegeben und umfasst die Evaluierung der mehrjährigen gemessenen Verbrauchsdaten von insgesamt 17 modernisierten Gebäuden.

### Zugrundeliegende Randbedingungen

#### Vergleichswert Heizwärmebedarf

Der Vergleichswert für den gemessenen Heizwärmeverbrauch ist der mittels PHPP berechnete Heizwärmebedarf. Die Abb. 1 zeigt die berechneten Werte der Vorhaben. Der Heizwärmebedarf beträgt grundsätzlich weniger als 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) (rote horizontale Linie), denn nur dann wurde eine Förderung für die Modernisierungsmaßnahmen gewährt.

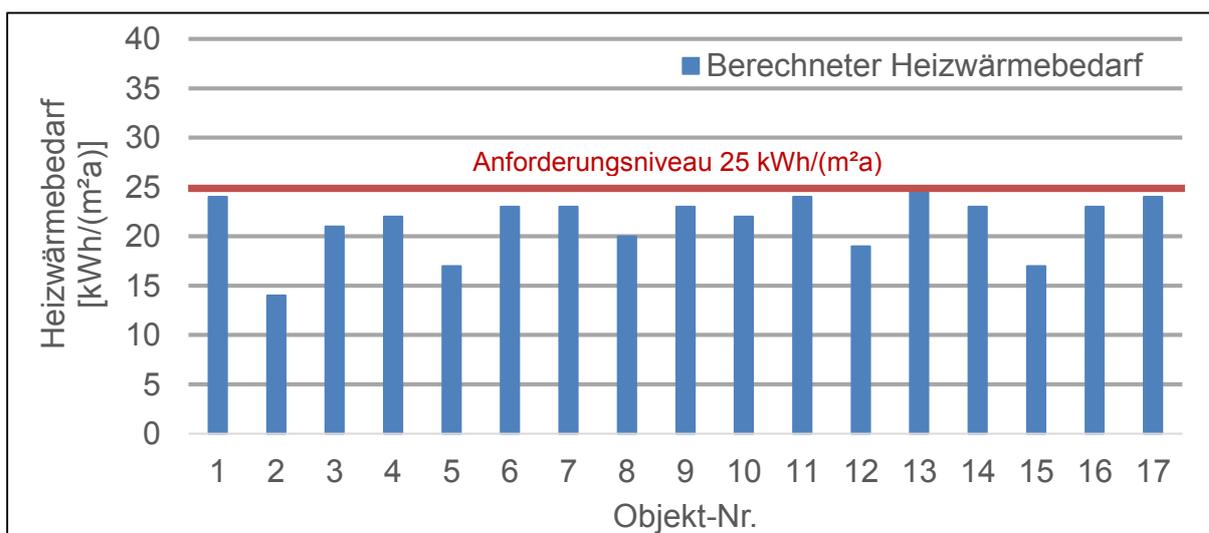


Abb. 1 - Randbedingungen der Messung

## Grundgesamtheit für die Auswertung

Insgesamt wurde seit Einführung des Förderschwerpunktes im Jahr 2008 für 66 Objekte ein Zuwendungsbescheid ausgestellt. Aktuell werden 26 Objekte seit Fertigstellung der Modernisierungsmaßnahmen länger als zwei Jahre genutzt. Von den angeschriebenen Zuwendungsempfängern liegt ein Rücklauf auswertbarer Daten für 17 Vorhaben vor. Die Verteilung nach Gebäudetypen findet sich in Tab. 1.

	kleine Wohngebäude (≤ 3 WE)	große Wohngebäude (> 3 WE)	Schulen/ Schultrakte	Verwaltungsgebäude	Gesamt
Bewilligte Fördervorhaben (umgesetzt oder Ausführung geplant)	37	23	3	3	66
Fertigstellung > 2 Jahre	22	4	0	0	26
Rücklauf an auswertbarer Verbrauchserfassungen	15	2	0	0	17

Tab. 1 - Anzahl Förderfälle je Gebäudetyp und Projektstand

## Eingesetzte Wärmeerzeuger

Charakteristisch für ein mit Passivhauskomponenten modernisiertes Gebäudes ist, dass trotz effizienter Nutzung der internen und solaren Wärmergewinne sowie der Wärmerückgewinnung mittels kontrollierter Lüftungsanlage nach wie vor zur Deckung des (Rest-)Wärmebedarfs für die Gebäudebeheizung eine Wärmeerzeugungsanlage bereitgestellt werden muss. Welche Wärmeerzeuger im Zuge der energetischen Modernisierung installiert wurden, zeigt Abb. 2.

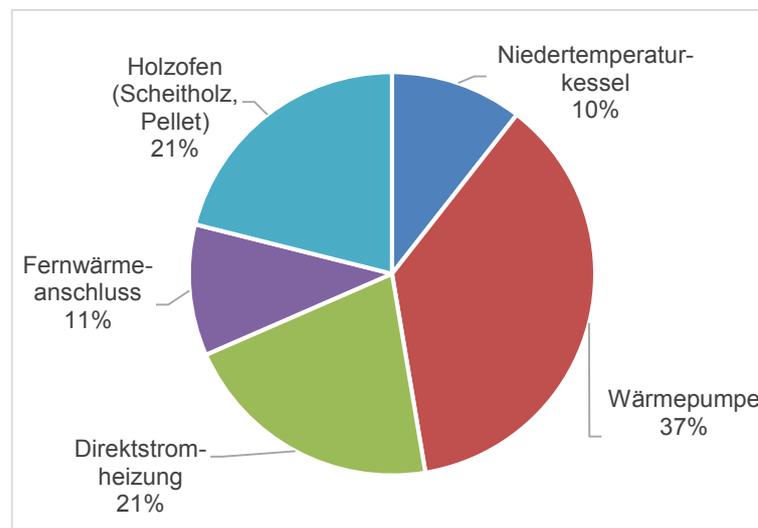


Abb. 2 - Art der Wärmeversorgung der ausgewerteten Objekte

Auffallend ist die Dominanz der Wärmepumpen, die überwiegend als Luft-/Wasser-Wärmepumpe und im Einzelfall als Sole-/Wasser-Wärmepumpe ausgeführt wurden. Biomasse als Brennstoff wird ausschließlich in Direktöfen eingesetzt, die im Wohnraum aufgestellt wurden. Auch die Direktstromheizung besitzt einen signifikanten Anteil an der Art der Wärmebedarfsdeckung. Die Beheizung mit elektrischer Energie ist dabei als sekundäres Heizsystem über im Zuluftstrang der Lüftungsanlage verbaute Heizregister, als monovalentes System über eine Fußbodenheizung oder mittels Infrarotheizkörper installiert. Im Bereich der

großen Wohngebäude wird die Wärmeversorgung weiterhin über den Anschluss an das Fernwärmenetz sichergestellt. In wenigen Fällen wurde auch bei kleinen Wohngebäuden der bestehende Niederdruckkessel (mit vergleichsweise niedrigem Jahresnutzungsgrad) weiterbetrieben.

### Eingesetzte Messeinrichtungen

Das Konzept zur Erfassung des Heizwärmeverbrauchs wurde zwischen dem Zuwendungsempfänger und der hessenENERGIE jeweils anlässlich eines Vor-Ort-Termins in Abhängigkeit des eingesetzten Wärmeerzeugers besprochen. Abb. 3 zeigt die Häufigkeit des Einsatzes der verschiedenen Messeinrichtungen.

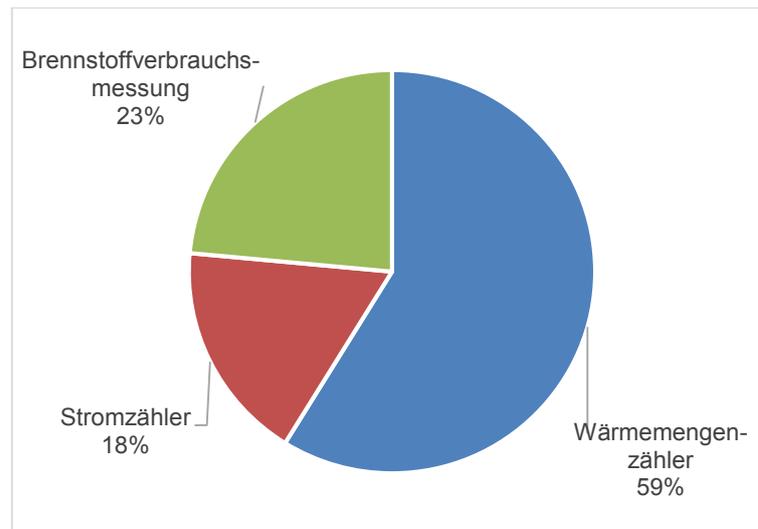


Abb. 3 - Art der Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs für die ausgewerteten Objekte

Überwiegend wurden Wärmemengenzähler als Messeinrichtung für den Heizwärmeverbrauch installiert. Sie wurden im Fernwärme- und Heizungsvorlauf oder auch bei Wärmepumpen eingesetzt. Brennstoffverbrauchsmessung (Gas-/Ölverbrauch, Pellet-/Scheitholzverbrauch) sowie Stromzähler wurden nicht so häufig installiert.

### Erfassung Trinkwarmwasser

Die energetischen Anforderungen konzentrieren sich im Zuge der rechnerischen energetischen Bilanzierung auf das Unterschreiten des Zielwertes des Heizwärmebedarfs. An den Wärmebedarf für die Trinkwarmwassererwärmung wurde keine Anforderung gestellt.

Teilweise wurde der Heizwärmeverbrauch getrennt vom Trinkwarmwasserverbrauch erfasst. In einigen Fällen, insbesondere bei einer Messung des Brennstoffverbrauchs, umfasst der gemessene Energieverbrauch jedoch sowohl die Heizwärme als auch die Wärmemenge zur Trinkwarmwasserbereitung. Häufig konnte die Wärmemenge für die Trinkwarmwasserbereitung näherungsweise über den Wärmeverbrauch im Sommer ermittelt, auf den Jahresverbrauch hochgerechnet und vom Gesamtwärmeverbrauch abgezogen werden. In wenigen Fällen konnte über den Verbrauch der erfassten Kaltwassermenge und die Personenzahl die Wärme für die Trinkwarmwasserbereitung näherungsweise ermittelt und vom Gesamtwärmeverbrauch abgezogen werden.

### Witterungsbereinigung

Der rechnerischen Bilanzierung mittels des PHPP liegen entweder Standardklimadaten oder Datensätze für Klimaregionen zugrunde. Daraus resultierende Bedarfswerte sind als

mehrfährige Mittelwerte zu verstehen. Da die Verbrauchswerte stark von der Witterung in den Betrachtungszeiträumen abhängen, konnten die erfassten Heizwärmeverbräuche nicht zwangsläufig als repräsentativ für den langjährigen Mittelwert des jeweiligen Standorts gelten. Daher wurde für die jeweiligen Betrachtungsjahre eine Witterungsbereinigung auf Grundlage der Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes vorgenommen. Dadurch sind die jeweiligen Heizwärmeverbrauchswerte mit den berechneten Heizwärmebedarfswerten eher vergleichbar.

## Gegenüberstellung Heizwärmeverbrauch - Heizwärmebedarf

Abb. 4 zeigt die Gegenüberstellung des gemessenen mittleren Heizwärmeverbrauchs und des berechneten Heizwärmebedarfs der Vorhaben. Der abgebildete Verbrauchswert stellt jeweils den witterungsbereinigten Mittelwert über mindestens zwei Betrachtungsjahre dar.

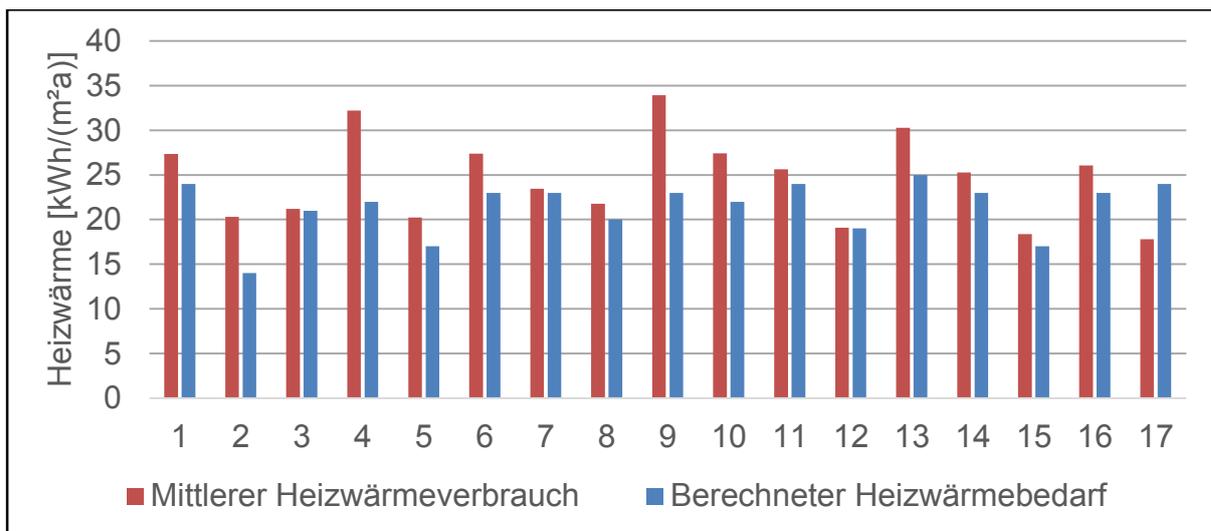


Abb. 4 - Vergleich berechneter Heizwärmebedarf zu gemessener Heizwärmeverbrauch

Gegenüber den rechnerisch ermittelten Ergebnissen des Heizwärmebedarfs sind sämtliche Objekte durch einen höheren Heizwärmeverbrauch gekennzeichnet, ausgenommen Objekt Nr. 17. Es zeigen sich Abweichungen von bis zu 11 kWh/(m²a). Der Verbrauchswert des Objektes Nr. 17 ist um 6,2 kWh/(m²a) niedriger als der Bedarf.

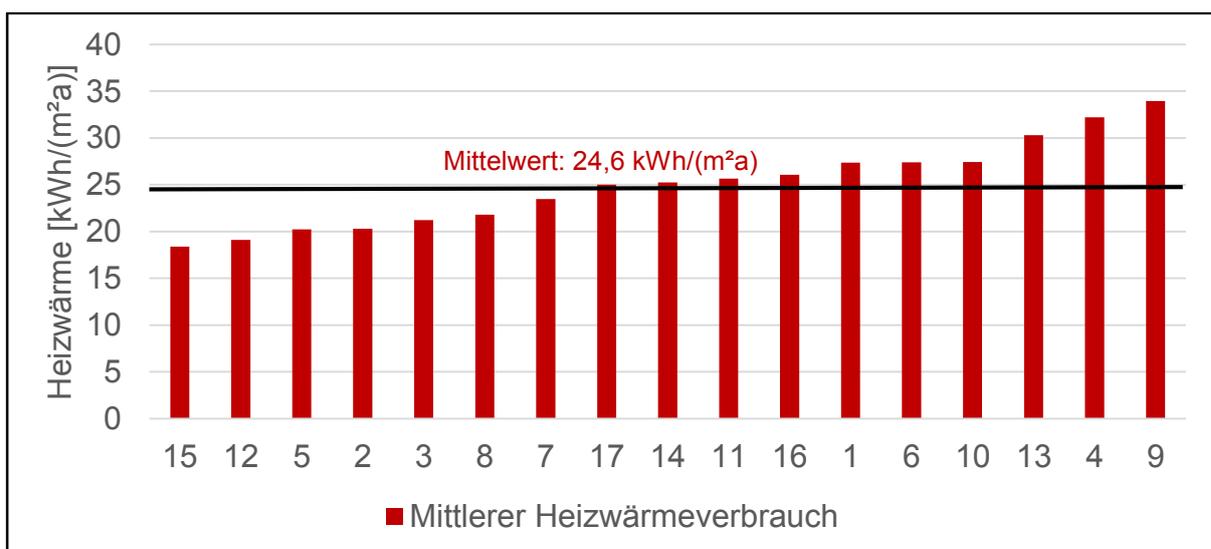


Abb. 5 - Abweichung des gemessenen Heizwärmeverbrauchs (sortiert) vom Mittelwert

Wie bei einer statistischen Auswertung von nutzerabhängigen Energieverbrauchswerten zu erwarten, sind die erfassten Daten individuellen Schwankungen unterworfen. Der Mittelwert aus sämtlichen Verbrauchsdaten liegt mit  $24,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  knapp unterhalb der Mindestanforderung des einzuhaltenden Energiekennwerts. In Abb. 5 sind die Objekte nach der Höhe ihres Heizwärmeverbrauchs aufsteigend dargestellt. Bei dieser geordneten Darstellung der Verbrauchswerte wird die Streuung der gemessenen Heizwärmeverbrauchswerte um den Mittelwert in Höhe von  $24,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  deutlich.

In den Abb. 4 und Abb. 5 ist für die Skalierung der Ordinatenachse ein vergleichsweise niedriger maximaler Energiekennwert gewählt. Dadurch ist die Schwankungsbreite der Bedarfs- und Verbrauchswerte deutlich erkennbar. Abb. 6 verdeutlicht, dass bei einer Verdopplung des größten Werts der Ordinatenachse die Schwankungen weniger stark ins Gewicht fallen. Ergänzt wurde die Abbildung um die Darstellung eines Bereiches für den Heizwärmebedarf, der plausibel ist für ein Gebäude gemäß den Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Neubauten. Dadurch wird deutlich, dass sämtliche modernisierten Gebäude einen weitaus geringeren Heizwärmebedarf und -verbrauch aufweisen, als er gemäß den gesetzlichen Mindestanforderungen für Neubauten zu erwarten wäre.

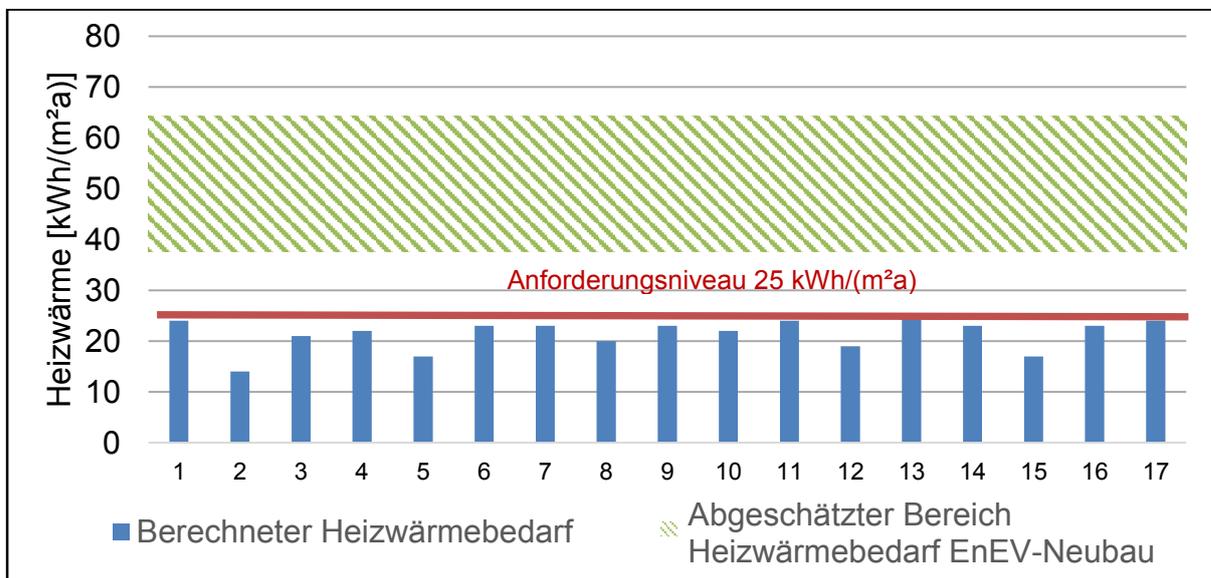


Abb. 6 - Berechneter Heizwärmebedarf im Vergleich zum Heizwärmebedarf eines EnEV-Neubaus

Noch deutlicher wird der Effekt bei einer erweiterten Anpassung der Skalierung des Diagramms. Stellt man den Heizwärmebedarf der Vorhaben dem Energiekennwert eines nicht wesentlich modernisierten Gebäudes aus den Baujahren der Objekte gegenüber, fallen Schwankungsbreiten noch weniger ins Gewicht (Abb. 7).

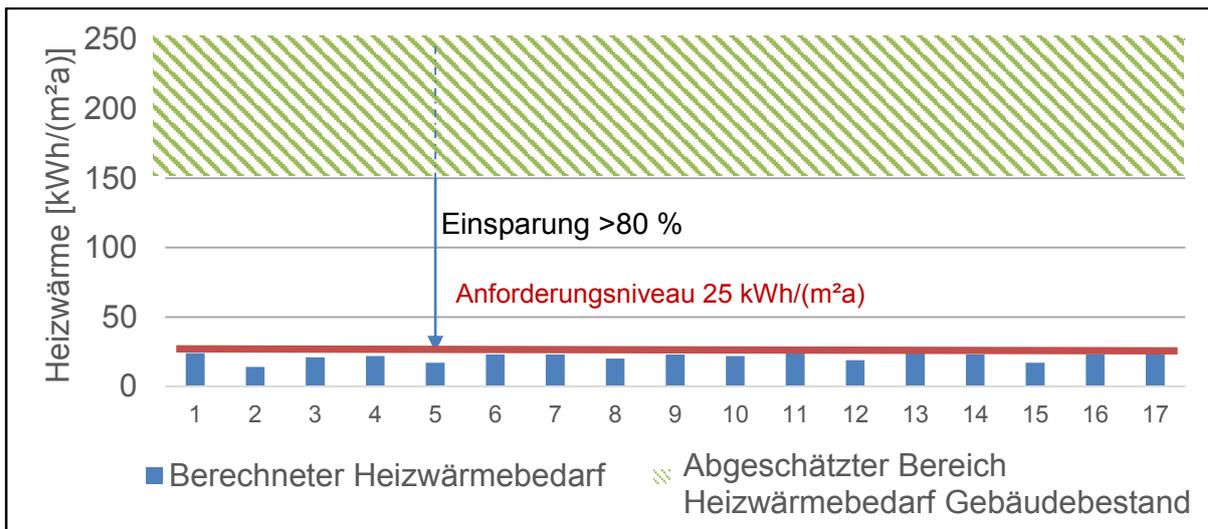


Abb. 7 - Berechneter Heizwärmebedarf im Vergleich zum Heizwärmebedarf des Gebäudebestands aus den 50/60er Jahren

### Bewertung der Ergebnisse

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass der im Förderschwerpunkt "Energetische Modernisierung zum Passivhaus im Bestand" geforderte Heizenergiekennwert von 25 kWh/(m²a) in der Praxis erreicht und teilweise sogar unterschritten werden kann; die ermittelten Heizwärmeverbräuche belegen dies. Von den 17 Vorhaben halten neun Vorhaben diesen Wert ein, während er in acht Fällen – im Wesentlichen nur geringfügig – überschritten wird.

Beim Vergleich des Heizwärmeverbrauchs zum berechneten Heizwärmebedarf ist die absolute Abweichung in kWh/(m²a) gering.

Gegenüber anderen energetischen Standards im Gebäudebereich liefern alle 17 mit passivhaustauglichen Komponenten modernisierten Gebäude energetisch deutlich bessere Ergebnisse. Im Vergleich zu einem Neubau, der den Mindestanforderungen der aktuellen EnEV entspricht, wurde ein um den Faktor 2 bis 3 niedrigerer Heizwärmeverbrauch erreicht. Im Vergleich zu nicht wesentlich modernisierten Bestandsgebäuden aus den 50er und 60er Jahren kann sogar ein über 80 % niedrigerer Heizwärmeverbrauch erreicht werden.

Die Abweichungen bei den einzelnen Vorhaben zwischen dem projektierten bzw. berechneten Heizwärmebedarf und dem gemessenen Heizwärmeverbrauch kann auf verschiedene (vorwiegend individuelle) Gründe zurückgeführt werden. Die geringen Abweichungen könnten vermutlich durch die Anpassung der Parameter zur PHPP-Bilanzierung weiter verringert werden. So könnten beispielsweise eine Anpassung der Raumtemperatur, des Lüftungsverhaltens oder der Personenbelegung auf die realen Werte dazu führen, dass das Ergebnis der Berechnung noch treffender den in der Praxis zu erwartenden Verbrauch abbildet.