

Monitoring in der Passivhaus-Siedlung Bahnstadt Heidelberg

Zwischenbericht 2014



Autor: Søren Peper

Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt, www.passiv.de

Juli 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Monitoring der Bahnstadt, Heidelberg	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Energieverbrauch Bahnstadt Heidelberg.....	4
1.3	Verfahren Minimalmonitoring Wärmeverbrauch	6
1.4	Auswertung Energieverbrauch Fernwärme	9
1.5	Einordnung und Bewertung der Ergebnisse	11
1.5.1	Vergleich Heizwärmeverbrauch mit PHPP-Planungsdaten.....	13
1.5.2	Wetterdaten	14
1.5.3	Innentemperaturen.....	16
1.5.4	Zusammenführung PHPP	16
2	Fazit.....	20
3	Quellenangaben	21

Im Auftrag der Stadt Heidelberg



Kofinanzierung
im Rahmen des EU-Projektes PassREg



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

- In Kooperation mit den Stadtwerken Heidelberg -

Foto Titelseite: Bildrechte Stadt Heidelberg / Foto: Kay Sommer

Disclaimer:

The sole responsibility for the content of this report lies with the authors. It does not necessarily reflect the opinion of the European Union. Neither the EACI nor the European Commission are responsible for any use that may be made of the information contained therein.

1 Monitoring Bahnstadt Heidelberg

1.1 Einleitung

Auf 116 Hektar Fläche des ehemaligen Güter- und Rangierbahnhofs entsteht zur Zeit die weltweit größte Passivhaussiedlung. Durch die Deckung des Wärme- und Strombedarfs zu 100 % aus erneuerbaren Energien wird der Stadtteil zu einer der größten Nullemissionssiedlungen der Welt.

Der Erfolg des Passivhaus-Baugebietes „Bahnstadt-Heidelberg“ soll mit Hilfe eines Monitorings überprüft werden. Es liegen monatliche Zählerablesungen für den gesamten Wärmeverbrauch (Heizung, Warmwasser, Verluste etc.) ganzer Baufelder mit jeweils über hundert Wohnungen vor. Mit dem vorhandenen Budget können keine detaillierten Messungen durchgeführt werden: Die Datenauswertung erfolgt aus diesem Grund im Rahmen eines sogenannten Minimalmonitorings, bei dem auch unter Zuhilfenahme von Forschungsergebnissen aus anderen Projekten der Heizwärmeverbrauch aus diesen Monatsmittelwerten in einer guten Näherung ermittelt wird.

Im gesamten Baugebiet ist der Passivhaus-Standard verbindlich vorgeschrieben. Damit wird in der Planungsphase der Gebäude u.a. ein Heizwärmebedarf von maximal 15 kWh/(m²a) angestrebt. Zum Vergleich sei hier die aktuelle Studie von Fa. Techem zum Heizenergieverbrauch 2013 genannt („Energiekennwerte 2014“): Gebäude mit Fernwärmeversorgung benötigten danach als Energieverbrauch für Raumheizwärme durchschnittlich 112 kWh/(m²a).

Der vorliegende Zwischenbericht betrachtet die Energieverbrauchsdaten im Jahr 2014, in einem Abschlussbericht werden dann die Daten für 2015 Berücksichtigung finden.



Abbildung 1: Luftbild des Teils der Bahnstadt, in dem sich die hier untersuchten Gebäude befinden (Foto: Kay Sommer / Bildrechte Stadt Heidelberg)



Abbildung 2: Ansichten einiger Gebäude in der Bahnstadt (Fotos: PHI)

1.2 Energieverbrauch Bahnstadt Heidelberg

Das Passivhaus Baugebiet Bahnstadt in Heidelberg besteht aus vielen großen Baufeldern, welche jeweils mit einem zentralen Fernwärmeanschluss versorgt werden. Das bedeutet, dass für bis zu fünf große Mehrfamilienhäuser nur ein zentraler Fernwärmeanschluss zur Abrechnung vorhanden ist. Auf weitere evtl. bestehende Unterzähler in den einzelnen Gebäuden hat der Versorger keinen Zugriff. Diese Hauptwärmehäher an den Übergabestationen wurden bisher bei ungefähr halbjährigen Ortsterminen vom Versorger „Stadtwerke Heidelberg“ ausgelesen. Später soll die Auslesung dieser elektronischen Wärmehäher regelmäßig über eine Daten-netz-anbindung erfolgen. Für eine erste Übersicht über die Gesamtfunktion der

Siedlung wurden nun Monatswerte der Zählerstände ausgelesen und dem Passivhaus Institut zur Auswertung übergeben.

Von den in Tabelle 1 zusammengestellten Baufeldern liegen diese Verbrauchsdaten vor. Als Energiebezugsfläche dienen hier die nach PHPP definierten Nutzflächen (bei Wohnungen sind das die Wohnflächen); bei der Einstufung der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die für die Kennwerte nach EnEV bestimmten Flächen A_N bei diesen Gebäuden um 28% größer ausfallen; die spezifischen Verbrauchswerte dann entsprechend noch kleiner:

Tabelle 1: Übersicht über die Art der Gebäude der untersuchten Baufelder

Art	Anzahl	Energie- bezugsfläche	Anzahl Wohneinheiten
Wohnbebauung	5	61.981 m ²	698
Studentenwohnheim	2	15.457 m ²	564
Kindergarten	1	1.027 m ²	-
Büronutzung	1	9.694 m ²	-
Laborgebäude	1	21.346 m ²	-

Für eine sinnvolle Auswertung müssen die Gebäude mindestens ein Jahr vollständig bezogen bzw. genutzt sein, nur dann kann ein belastbarer Jahresverbrauch ermittelt werden. Auswertbare Daten mit diesem Umfang liegen bisher von den Baufeldern mit Wohnnutzungen, den Studentenwohnheimen sowie dem Kindergarten vor. Diese können nach der bestehenden Datenlage für das vollständige Jahr 2014 ausgewertet werden. Bei drei Baufeldern gilt dies aber nur mit Einschränkung, da der Vollbezug vermutlich erst um ein bis drei Monate später erfolgte (Januar bis März 2014). Genaue Angaben zum Zeitpunkt der Vollbelegung sind nicht vorhanden. Ob diese Umstände der vollständigen Belegung in diesen Gebäuden zu einem Mehr- oder Minderverbrauch geführt haben, ist nicht bekannt¹.

¹ Wird eine Wohnung in einem Gebäude noch nicht genutzt sind folgende zwei Varianten möglich:
 (I) Ein erhöhter Verbrauch ergibt sich, wenn die Beheizung auf Wohnniveau bereits erfolgt, aber die internen Wärmequellen (Personen, elektrischer Verbrauch) noch fehlen. Auch die Einzugsaktivität selbst (offene Türen und Fenster) kann zu erheblichen zusätzlichen Verlusten führen.
 (II) Aber auch eine Reduktion des Verbrauchs ist denkbar, wenn vor dem Bezug keine oder nur eine reduzierte Beheizung erfolgt ist.

1.3 Verfahren Minimalmonitoring Wärmeverbrauch

Mit den gelieferten Monatsständen der zentralen Wärmezähler liegen je Baufeld die Verbräuche für alle Wärmeanwendungen als Summenwerte vor. In diesen Summenwerten sind die folgenden Verbrauchsgrößen enthalten:

- Heizwärmeverbrauch
- Warmwasserwärmeverbrauch
- Wärmeabgabe der Verteilleitungen (nutzbar und nicht nutzbare)
- Übergabeverluste der Fernwärmestation
- Speicherverluste der Warmwasserspeicher
- Sonstiges, wie z.B. Rampenheizung der Tiefgarageneinfahrt

Aus den Summenwerten der Monatsverbräuche lassen sich die einzelnen Verbrauchsgrößen nicht heraus differenzieren. Daher muss ein empirisches Verfahren angewendet werden, welches zumindest eine gute Abschätzung dieser Aufteilung ermöglicht. Dabei ist zu beachten, dass die untersuchten Gebäude über keine thermischen Solaranlagen verfügen und die Warmwassererzeugung in den Wohnbauten vollständig über die Fernwärme erfolgt.

Aus den Monatsverbrauchswerten kann in den Kernsommermonaten der Aufwand für alle Aufwendungen ermittelt werden, welche unabhängig von der Beheizung der Gebäude sind. Dabei wird angenommen, dass ungeplante und unerwünschte Sommerbeheizungen nicht durchgeführt werden. In Passivhäusern gibt es keinen originären Sommerheizenergiebedarf – solche Gebäude weisen wegen ihrer langen Zeitkonstante auch in evtl. mehrwöchigen „Kälteeinbrüchen“ immer noch komfortable Innentemperaturen ohne jede Heizung auf. Da in der Sommerzeit möglicherweise aufgrund von längeren Urlaubszeiten einige Wohnungen nicht genutzt werden, darf nicht der Monat mit dem niedrigsten Sommerverbrauch angesetzt werden. Da es sich um große Gebäude mit einer Vielzahl von Wohnungen handelt, kann eine geringe Gleichzeitigkeit der Urlaubszeiten unterstellt werden.

Es wird der mittlere Verbrauch der vier Sommermonate (Juni bis September) berechnet und dieser wird für jeden Monat als Verbrauchsgröße **„Aufwendungen ohne Heizung“** angesetzt; in einem Passivhaus in diesem Klima ist der Heizwärmebedarf in diesen Monaten definitiv Null. Wird nun dieser Sommerverbrauchsmittelwert auf das Jahr hochgerechnet, ergibt sich der jährliche Aufwand für die „Aufwendungen ohne Heizung“. In Abbildung 3 ist dieser Verbrauch für das Auswertungsjahr innerhalb

des Kastens mit grüner Punktlinie dargestellt. Er wird hier zur Abkürzung als sog. „**Sockelverbrauch**“ bezeichnet. Als mittlerer Sommerverbrauchswert hat sich in diesem Baufeld für den Sommer 2014 ein Wert von 3,72 kWh/(m² Monat) ergeben. Alle Verbrauchswerte in den übrigen Monaten, welche sich nun oberhalb des grünen Kastens befinden, werden als „Heizwärmeverbrauch“ gewertet.

Die Wärmeabgabe der Verteilleitungen wird bei diesem einfachsten Ansatz als im Jahresverlauf konstant angenommen. Die Vorlauftemperatur der Fernwärme richtet sich nach dem Bedarf der ganzjährigen Warmwasserbereitung. In der Hauptsache sind die Wärmeabgaben der Verteilleitungen durch die Temperaturdifferenz Oberfläche Rohrleitung zur Umgebungsluft (z.B. Kellerraum, Tiefgarage) geprägt.

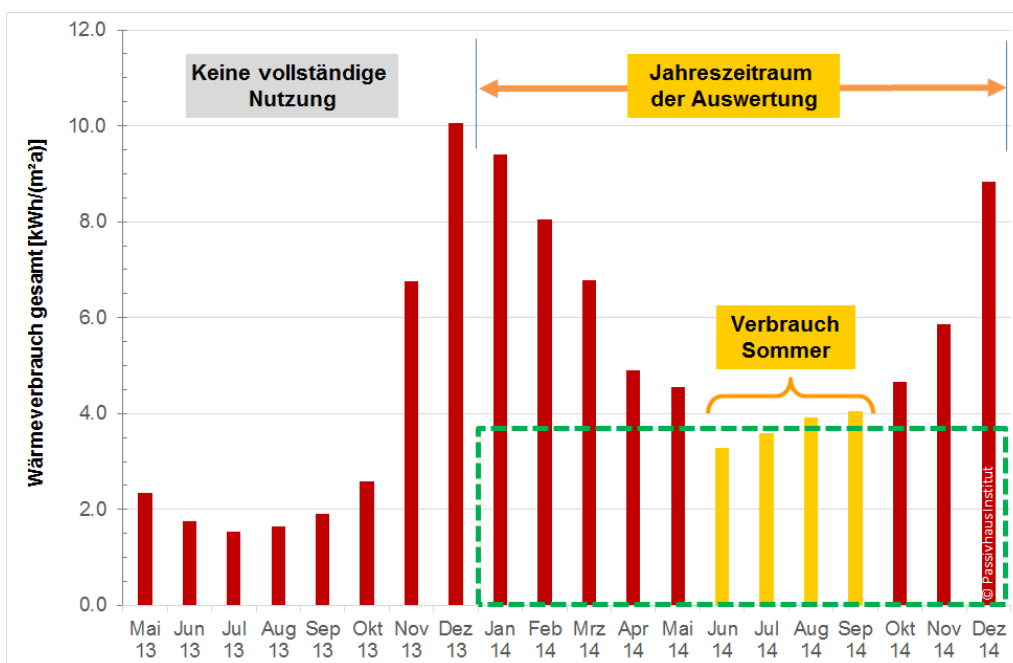


Abbildung 3: Monatsverbrauchswerte Fernwärme eines beispielhaften Baufelds in der Bahnstadt Heidelberg. Das Vorgehen zur Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs ist im Text geschildert.

Bei dem in der Abbildung 3 gezeigten Beispiel ergibt sich nach diesem Verfahren der Heizfernwärmeverbrauch für das gesamte Baufeld in erster Näherung zu 23,3 kWh/(m²a). Der Sockelverbrauch beträgt 3,72 kWh/(m²Monat) x 12 Monate = 44,6 kWh/(m²a).

Diese Art der Berechnung erlaubt es grundsätzlich, aus den wenigen verfügbaren Messdaten einen Wert für den Heizwärmeverbrauch zu ermitteln. Sie führt jedoch in dieser ersten Näherung aus verschiedenen Gründen zu einer **Überschätzung des Heizwärmeverbrauchs**:

- Der Warmwasserverbrauch in Wohngebäuden ist im Sommer geringer als im Winter. Durch die Ermittlung des Sockelverbrauchs im Sommer fällt der Abzug damit für den Winter zu gering aus. In einem Gebäude mit 12 Wohnungen in Ludwigshafen zeigen die Analysen der Messdaten einer dort durchgeführten genaueren Untersuchung [Peper 2012a], dass der Warmwasser-Winterverbrauch um ca. 10 % über dem mittleren Sommerverbrauch liegt. Bei der ersten Näherung würde die Überschätzung des Heizwärmeverbrauchs etwa **1 bis 2 kWh/(m²a)** betragen. In einem anderen Projekt in Frankfurt mit 19 Wohnungen zeigen die Messdaten eine noch stärkere Winter- zu Sommerüberhöhung (um 29 %). In der hier durchgeführten Analyse wird der moderatere Ansatz von 10 % Winter- zu Sommerüberhöhung verwendet.
- Die bei einigen Baufeldern vorhandene Beheizung der Tiefgarageneinfahrten fällt im Sommer nicht an und wird so dem Heizwärmeverbrauch zugerechnet. Eine Abschätzung des Verbrauchsanteils ergibt für diese Baufelder mit zentralen Tiefgaragen Werte um **0,1 bis 0,3 kWh/(m²a) für die Tiefgarageneinfahrtbeheizung**.
- Möglicherweise sind ungewollte Beheizungen (z.B. im Monat Mai) aufgrund von Fehlbedienung anzutreffen. Diese Aufwendungen sind im ermittelten „Heizwärmeverbrauch“ enthalten. In den hier untersuchten Projekten mit Wohnnutzung betragen die Heizwärmeverbräuche, welche im Mai über den Sommersockelwerten liegen, zwischen 0,4 und 1,2 kWh/m²; im Mittel **0,7 kWh/m²**.
- Die Wärmeabgabe der Verteilleitungen im Erdreich und Kellerbereich richtet sich - bei weitgehend konstanter Vorlauftemperatur der Fernwärme - nach der Art und Qualität der Dämmung sowie nach der Umgebungstemperatur der Leitungen. Im Winter liegen die Umgebungstemperaturen niedriger und damit steigt die Abgabe der Wärmeverteilung. Durch die Berechnung der „Sockelwärme“ aus den Sommerwerten wird die erhöhte Abgabe im Winter vollständig dem Heizwärmeverbrauch zugerechnet. Eine Abschätzung der Größenordnung wurde für eines der Baufelder durchgeführt. Dabei wurde nach Leitungslängen im Erdreich und im Keller unterschieden, und die linearen Wärmeverlustkoeffizienten der unterschiedlichen Leitungen wurden berücksichtigt. Es ergibt sich eine Differenz zwischen dem Sommeransatz und einer Berücksichtigung der niedrigeren Temperaturen im Winter von 1800 kWh/a, entsprechend rund **0,2 kWh/(m²a)**. Dieser Wert wird vereinfacht auch für die anderen Baufelder angesetzt.

In der Summe der hier dargestellten Effekte ergibt sich durch die 1. Näherung („Sockelmethode“) eine Überschätzung des Heizwärmeverbrauchs von 1,4 bis 2,5

kWh/(m²a) **plus** dem jeweiligen „ungeplanten“ Heizwärmeverbrauch für den Mai. Mit dem maximalen Wert 2,5 kWh/(m²a) und dem projektspezifischen Heizverbrauch für den Mai ergibt sich die Überschätzung zu **2,9 bis 3,7 kWh/(m²a)**. Dieser Verbrauch muss in der nun erfolgten 2. Näherung abgezogen werden, um einen realitätsnäheren Wert für den Heizungsfernwärmeverbrauch zu erreichen. Für das Baufeld aus Abbildung 3 ergibt sich damit ein Heizwärmeverbrauch (zweite Näherung) von

$$23,3 \text{ kWh/(m}^2\text{a)} - 3,3 \text{ kWh/(m}^2\text{a)} = \mathbf{20,0 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}}$$

Damit sind die größten Effekte, die bei dem Verfahren zur Überschätzung des Heizwärmeverbrauchs führen, berücksichtigt. Die so ermittelten Werte der zweiten Näherung werden nachfolgend wieder verkürzt als „Heizwärmeverbrauch“ betrachtet. Die mittlere Messabweichung dürfte hierbei in einem Bereich von ca. ± 4 kWh/(m²a) liegen. Auch mit dieser (relativ großen, aber absolut sehr geringen) Fehlermarge ist der Heizwärmeverbrauch in den hier vermessenen über 75.000 m² Nutzfläche extrem gering. Schon hier wird erkennbar, dass das Projekt Passivhaussiedlung Heidelberg Bahnstadt äußerst erfolgreich ist.

1.4 Auswertung Energieverbrauch Fernwärme

Nach dem oben beschriebenen Verfahren erfolgte zunächst die Auswertung der verfügbaren Baufelder mit Wohnnutzung. Zur Berechnung der Sockelverbrauchswerte (1. Näherung) wurden - separat für jedes der Baufelder - immer die Mittelwerte der gleichen Sommermonate (Juni bis September) herangezogen. Zur Korrektur des Heizfernwärmeverbrauchs für die 2. Näherung werden jeweils die ermittelten Werte zwischen 2,9 bis 3,7 kWh/(m²a) abgezogen und beim „Sockelverbrauch“ aufgeschlagen. Es verschiebt sich damit die Zuordnung der Verbrauchswerte, nicht deren Gesamthöhe.

Die spezifischen Gesamtverbrauchswerte Fernwärme der Baufelder mit Wohnnutzung liegen im Untersuchungsjahr 2014 zwischen **46 und 68 kWh/(m²a)**. In der Aufteilung ergeben sich daraus Sockelverbräuche zwischen 33,0 bis 48,0 kWh/(m²a). Die Aufwendungen zur Beheizung ergeben sich zu **9,3 bis 24,2 kWh/(m²a)**; der flächengewichtete Mittelwert dazu beträgt **14,9 kWh/(m²a)**. In Abbildung 4 sind diese Verbrauchswerte als Summe und in der Aufteilung dargestellt.

Bei der hier durchgeführten Auswertung der Verbrauchsdaten muss berücksichtigt werden, dass die erreichbare Genauigkeit begrenzt ist. Das Vorgehen arbeitet mit

Vereinfachungen und Annahmen welche dazu führen, dass die bei detaillierten Messungen erreichbare Genauigkeit von etwa $\pm 3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ [Feist 2004] in dieser Analyse keinesfalls unterschritten werden kann.

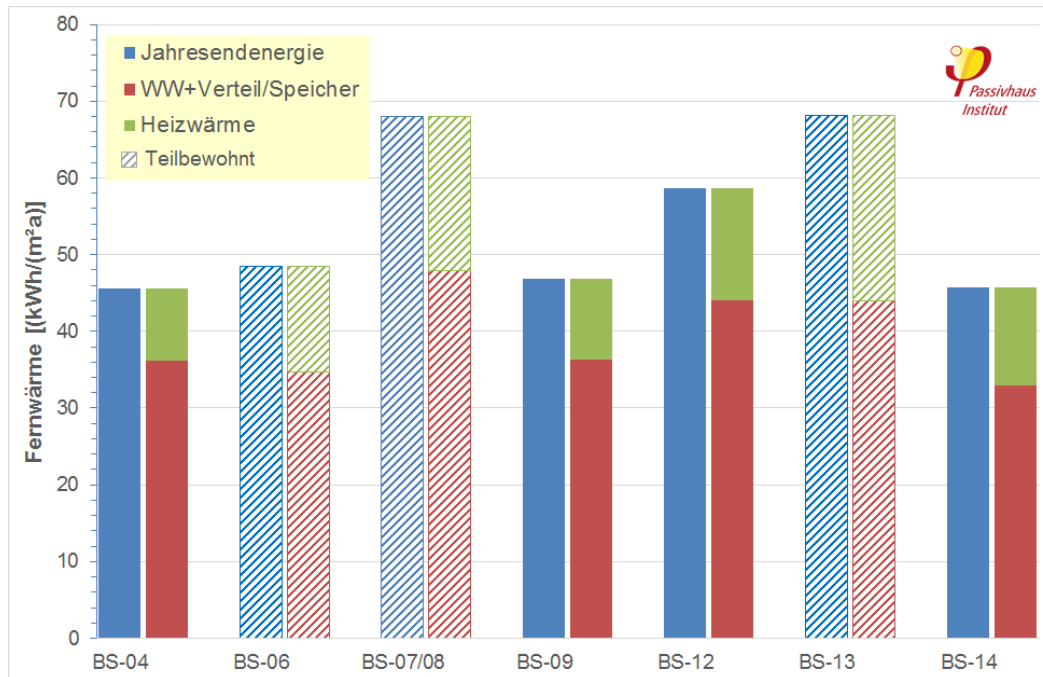


Abbildung 4: Jährliche Verbrauchswerte der Fernwärme für Wohnnutzung (inkl. Studentenheimen) nach Baufeldern. Nach dem Vorgehen aus Abschnitt 1.3 ist der Gesamtverbrauch (blau) in Heizwärme (grün) und die restlichen Verbräuche (rot) aufgeteilt. Die gestrichelt gekennzeichneten Baufelder waren im Jahr 2014 erst nach ein bis drei Monaten vollständig bezogen („teilbewohnt“).

Es wird deutlich, dass eine relativ große Streuung der Verbrauchswerte zwischen den Baufeldern vorhanden ist. Dabei muss insbesondere berücksichtigt werden, dass drei der sieben Baufelder (die schraffierten) nicht im gesamten Jahreszeitraum 2014 vollständig bewohnt waren. Nach den dazu verfügbaren Angaben wurden diese drei Baufelder mit einer Verspätung von ein bis drei Monaten bezogen. Wie mit der Ausführung in Abschnitt 1.3 erwähnt, ist es verständlich, dass dies zu einer Erhöhung oder Verringerung der Verbrauchswerte führen kann. Erst das nächste Untersuchungsjahr kann diese Frage klären.

Die Größenordnung der Verteilung zwischen Heizwärme und den restlichen Verbräuchen „Sockelwärme“ für Warmwasserbereitung, Verteilung und Speicherung liegt in der Bahnstadt in einem typischen Bereich im Vergleich von zuvor untersuchten Passivhausprojekten. Um dies zu illustrieren, werden die Daten eines genauer untersuchten Gebäudes mit 19 zentral wärmeversorgten Wohnungen dargestellt

(Abbildung 5). In der zu Grunde liegenden Untersuchung [Peper/Grove-Smith/Feist 2009] konnten die Heizwärme, der Warmwasserverbrauch, die Verteilwärme und andere detaillierte Größen genauer analysiert werden. Es zeigte sich in diesem Projekt exemplarisch, dass die Heizwärme einen Anteil von 33 % an der gesamten gelieferten Wärme hatte. In den hier dargestellten Objekten der Bahnstadt liegen die Anteile mit Werten zwischen 20 bis 36 % damit in einer realistischen Größenordnung.

Mit Sicherheit ist auch bei diesem Projekt, insbesondere bei den Speicher- und Verteilverlusten, noch ein technisches Verbesserungspotential vorhanden. Die beiden Ausreißer mit Werten über 60 kWh/(m²a) sollten diesbezüglich noch näher untersucht und ggf. optimiert werden.

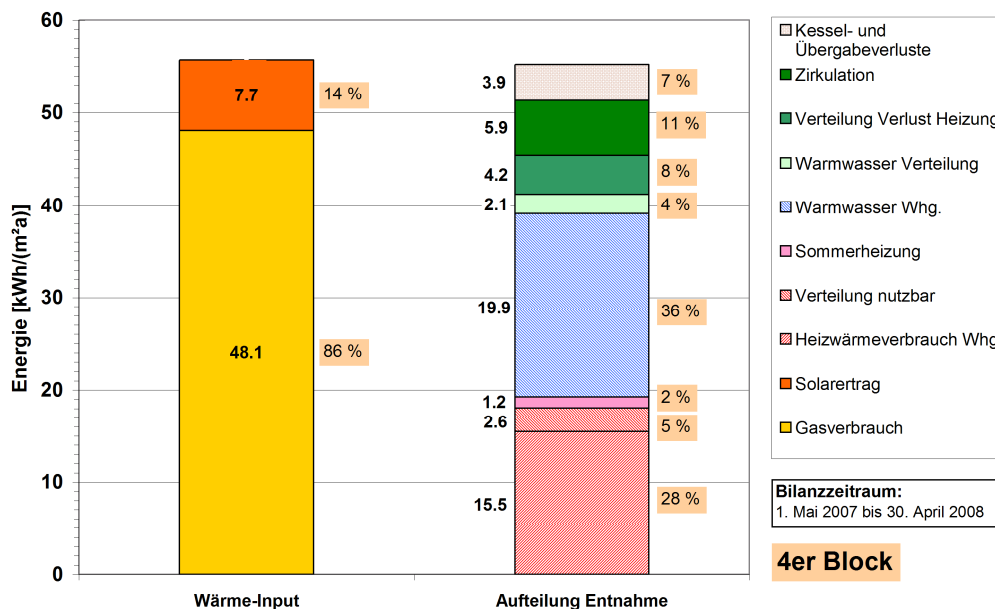


Abbildung 5: Energiebilanz eines Passivhauses mit 19 zentral wärmeversorgten Wohnungen aus der Untersuchung [Peper/Grove-Smith/Feist 2009]. Die Wärmeversorgung und die Verwendung der Wärme konnten hier detailliert messtechnisch aufgeschlüsselt werden. Die Jahresgesamtsumme liegt für dieses Objekt interessanterweise in der gleichen Größenordnung wie die der in diesem Beitrag untersuchten Baufelder der Passivhaussiedlung der Heidelberger Bahnstadt.

1.5 Einordnung und Bewertung der Ergebnisse

Bei der Beurteilung insbesondere der Heizwärmeverbrauchswerte muss berücksichtigt werden, dass die Verbrauchsdaten maßgeblich vom jeweiligen Wetter des Untersuchungszeitraumes und der gewählten Raumtemperatur der Nutzer abhängen. Es ist

also keinesfalls zu erwarten, dass ein Gebäude, welches in der Planung auf z.B. 15,0 kWh/(m²a) bilanziert wurde nun auch genau diesen Verbrauchswert ergeben wird. Bei einer Vielzahl von Wohnungen eines Komplexes kommt es zudem immer auf den Verbrauchsmittelwert an, nur dieser ist aussagekräftig. Für den tatsächlichen Verbrauch sind die tatsächlichen Wetterbedingungen und wirklich eingestellten Raumtemperaturen zu berücksichtigen (vgl. dazu auch [Peper 2012b]; diese Werte können bei der Planung nicht bekannt sein, daher muss das Planungsteam sich normativ festgelegter Auslegungswerte bedienen). Diese „Randbedingungen“ bestimmen ebenso wie die Kennwerte der Gebäude die Messdaten.

Die Auswertung der Verbrauchsdaten zeigt überzeugend, dass die umfangreichen Bemühungen der Stadt Heidelberg mit Vorgaben und Qualitätssicherung einen ganzen Stadtteil energetisch hochwertig zu gestalten, aufgegangen sind. Mit Heizwärmeverbrauchswerten von im Mittel 14,9 kWh/(m²a), bei Messungen überwiegend im ersten Betriebsjahr und inkl. Wohnheimen, ist hier ein sehr gutes Ergebnis erzielt worden. Besonders beeindruckend ist die Tatsache, dass es sich um eine sehr hohe Zahl (weit über 1000) Wohnungen mit insgesamt über 75.000 m² untersuchter Wohnfläche handelt. Mit diesen vielen Gebäuden kann gezeigt werden, dass eine Umsetzung von hoch energieeffizienten Gebäuden in die Breite mit vielen unterschiedlichen Akteuren gut und erfolgreich möglich ist.

In der folgenden Grafik (Abbildung 6) sind die Heizwärmeverbräuche der Wohngebäude sowie der flächengewichtete Mittelwert gesondert dargestellt. Im nächsten Untersuchungsjahr sind, aufgrund anderer Wetterrandbedingungen, der dann vorliegenden vollständigen ganzjährigen Nutzung und fehlender Erstjahreseffekte leicht veränderte Ergebnisse zu erwarten. Es muss beobachtet werden, ob sich z.B. die beiden höheren Verbrauchswerte (20 bzw. 24 kWh/(m²a)) nach Vollbezug noch nennenswert verändern. Allerdings kann festgehalten werden, dass sich auch diese Verbrauchswerte immer noch auf sehr niedrigem Niveau bewegen und keinesfalls als problematisch zu beurteilen sind.

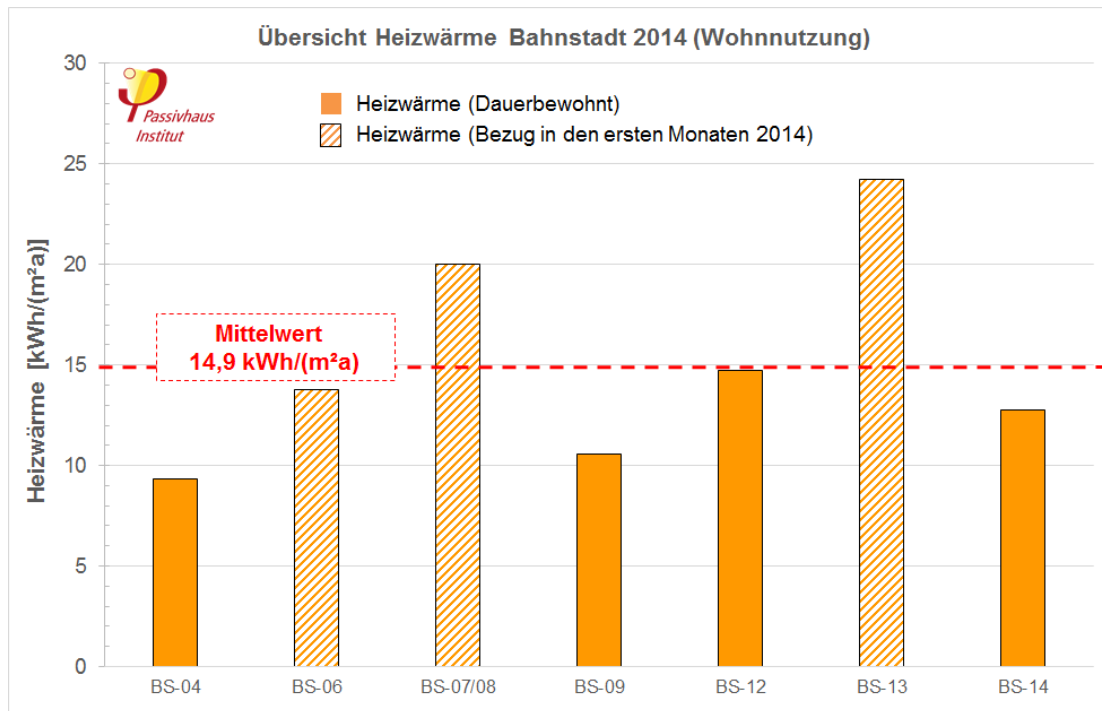


Abbildung 6: Jährliche Heizwärmeverbrauchsdaten in der Bahnstadt für wohngenutzte Gebäude (inkl. Studentenheimen) nach Baufeldern getrennt (aus Abbildung 4)

1.5.1 Vergleich Heizwärmeverbrauch mit PHPP-Planungsdaten

Als Planungstool wird bei allen Gebäuden in der Bahnstadt das PHPP (Passivhaus Projektierungs-Paket) verwendet. Dies ermöglicht im Planungsprozess eine energetische Optimierung des Gebäudes. Das PHPP wird von der Stadt Heidelberg auch zur Qualitätssicherung der Planung herangezogen. Eine Zertifizierung der Gebäude durch das Passivhaus Institut oder eine akkreditierte Zertifizierungsstelle erfolgte aber nur in wenigen Einzelfällen und bei keinem der in den hier untersuchten Baufeldern liegenden Gebäude.

Entscheidend für eine realitätsnahe Berechnung ist die korrekte und vollständige Nachführung des PHPP mit den Veränderungen während der Planung und insbesondere des Bauprozesses.

Wird dies mit der notwendigen Genauigkeit durchgeführt, liefert das PHPP (unter anderem) erfahrungsgemäß einen realistischen Heizwärmebedarf, entsprechend der verwendeten Randbedingungen wie Klimadaten, Belegungsdichte, interne Wärmequellen, Innentemperatur etc. Bei genauer untersuchten Projekten zeigt der Vergleich

zwischen Verbrauchsdaten und den PHPP-Bedarfsberechnungen regelmäßig ziemlich gute Übereinstimmungen (vgl. Abbildung 7). Dafür müssen – wie oben ausgeführt - die Klimadaten und die Innentemperatur als wichtigste Parameter für den Vergleich zur Messung nach den real vorliegenden Randbedingungen bestimmt und in das PHPP eingesetzt werden.

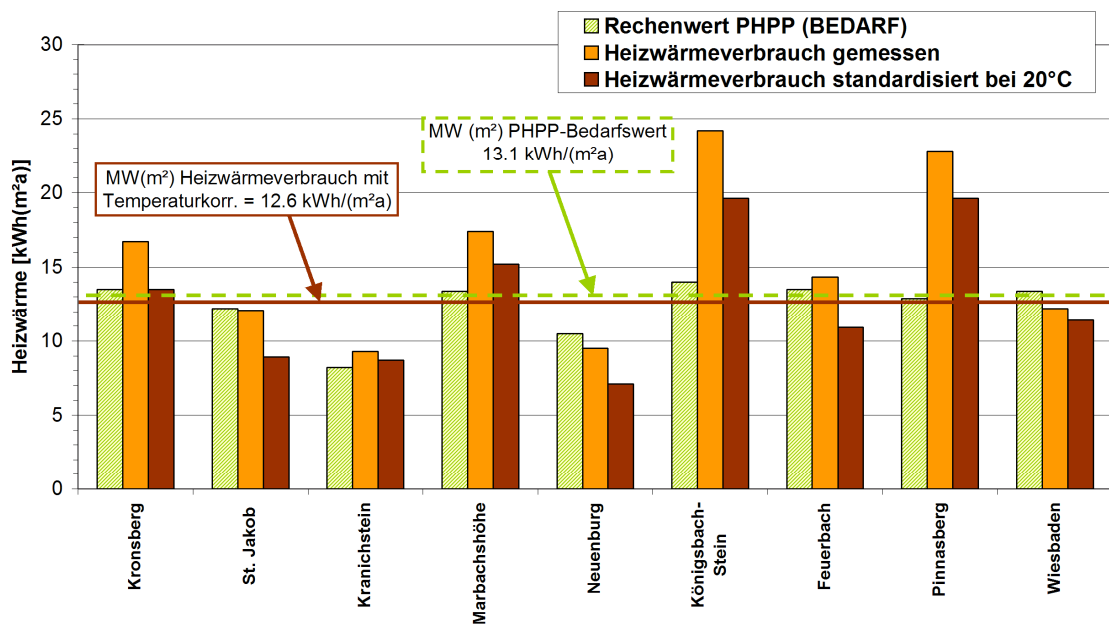


Abbildung 7: Gemessener Heizwärmeverbrauch im Vergleich mit dem Projektierungswert von Reihen-, Doppel- und Mehrfamilienhäusern im Passivhaus Standard. Der PHPP Rechenwert ist für 20°C Raumtemperatur berechnet worden (aus [Peper 2008])

1.5.2 Wetterdaten

Die Verbrauchsdaten der untersuchten Wohngebäude in der Bahnstadt sollen in einem weiteren Schritt mit den Planungsdaten der PHPPs verglichen werden. So lassen sich die Daten auf Plausibilität untersuchen und Ausreißer identifizieren. Für die Untersuchung in der Bahnstadt werden die tatsächlichen Wetterdaten von Heidelberg im Untersuchungszeitraum 2014 benötigt. Dazu sind zumindest die monatliche Außentemperatur und die monatliche Globalstrahlungssumme (horizontal) notwendig. Als Außentemperatur wurden Daten einer Messstation in Heidelberg-Kirchheim genutzt (<http://heidelberg-kirchheim-wetter.de>). Diese befindet sich in ca. 2,5 km Entfernung. Der Vergleich mit Messungen aus Ludwigshafen und Speyer zeigte nur geringe Abweichungen. Für den Bezug von Globalstrahlungsdaten aus Heidelberg konnte keine Quelle ausfindig gemacht werden. Die Strahlungsdaten wurden daher vom

ZIMEN Messnetz des Landes Rheinland-Pfalz (www.luft-rlp.de) vom Standort Ludwigshafen-Mundenheim bezogen. Die Außenlufttemperaturen Heidelberg zeigten die geringsten Abweichungen zum Standort in Ludwigshafen-Mundenheim im Vergleich zu anderen Alternative (Speyer). Der so erstellte Wetterdatensatz wird im Weiteren als „Wetter Heidelberg“ bzw. „Wetter LU/HD“ bezeichnet.

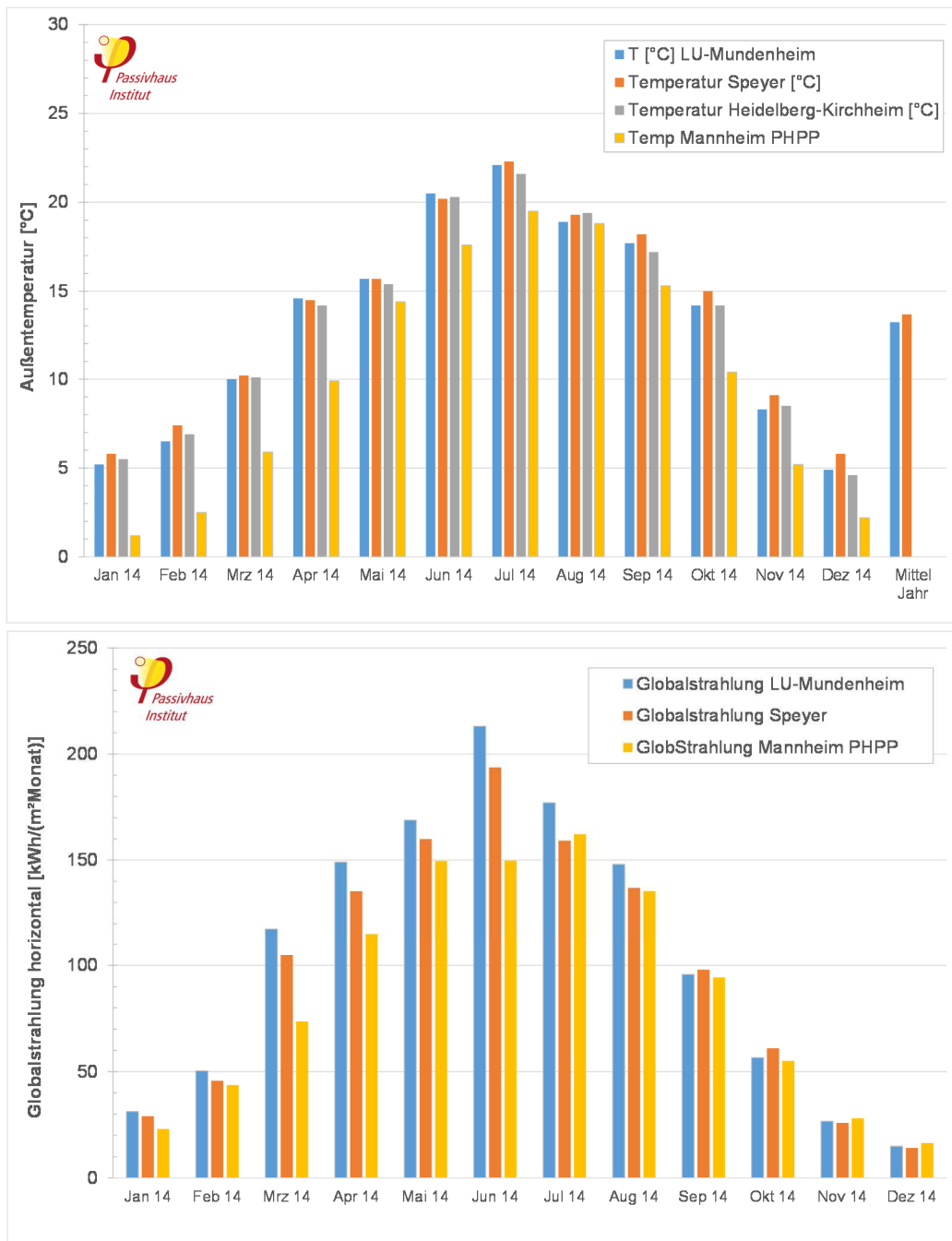


Abbildung 8: Vergleich der Wetterdatensätze für Außentemperatur und Globalstrahlung horizontal.

Der Vergleich der vorliegenden Wetterdaten von 2014 für Heidelberg mit dem während der Planung im PHPP verwendeten Standard-Klimadatensatz „Mannheim“ zeigt deutlich, dass der Zeitraum 2014 ausgesprochen mild war: Die Wintermonate sind deutlich wärmer als im Klimadatensatz Mannheim. Die Globalstrahlung zeigt Unterschiede insbesondere während der hier nicht relevanten Sommermonate (vgl. Abbildung 8).

1.5.3 Innentemperaturen

Bei dem hier durchgeführten Minimalmonitoring liegen für die 1260 Wohneinheiten keine gemessenen Innentemperaturen vor. Dieser wichtige Parameter für die Anpassung der Planungs-PHPPs kann damit nur nach anderen Messprojekten angenommen werden. Bei anderen Messungen in Passivhäusern mit Wohnnutzung wurden im Mittel Winter-Innentemperaturen von etwa 21,5°C gemessen [Peper 2012b]. Aus diesem Grund wird diese Innentemperatur hier ebenfalls angesetzt und im PHPP als Randbedingung verwendet.

1.5.4 Zusammenführung PHPP

Die hier mittels Minimalmonitoring untersuchten Wohngebäude und Studentenwohnheime sind in insgesamt 30 PHPPs bilanziert. Da nur ein Wärmezähler je Baufeld vorhanden ist, müssen die Bedarfswerte der Heizwärme aus den einzelnen PHPPs des Baufeldes flächengewichtet zu einem Vergleichswert zusammengefasst werden. Für die Studentenwohnheime liegen die Daten in je einem PHPP vor. Für die Baufelder mit den Wohngebäuden sind es drei bis fünf, in einem Fall zehn PHPPs. Diese PHPPs werden alle jeweils mit dem Wetterdatensatz von HD/LU 2014 als Randbedingung gerechnet und im zweiten Schritt die Raumtemperatur von 20 auf 21,5 °C erhöht. Das Ergebnis des auf diesem Weg berechneten Bilanzwertes eines Baufeldes kann nun mit dem Verbrauchswert aus dem vorherigen Abschnitt verglichen werden.

Die dem PHI zur Verfügung gestellten PHPP Berechnungen konnten im Rahmen dieser Untersuchung nicht geprüft werden. Während der Bearbeitung der PHPPs, wie dem Einfügen des Wetterdatensatzes 2014, sind dennoch einige Punkte aufgefallen. Einige davon haben einen nennenswerten Einfluss auf den Heizwärmebedarf und wurden daher angepasst:

- Einige PHPPs waren anstelle des **Monatsverfahrens** auf das Jahresverfahren eingestellt. Beide Verfahren waren zu der Zeit der Planung zulässige Nachweisverfahren für den Passivhausstandard. Hier wird ausschließlich das genauere

Monatsverfahren verwendet. Es ergibt sich eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs in den betrachteten Gebäuden um bis zu 2,4 kWh/(m²a).

- Bei Stichproben der PHPP-Berechnungen ergaben sich Fragen zu einzelnen Punkten der thermischen Gebäudehülle im Kellerbereich sowie zu einzelnen Wärmebrücken. Eine detaillierte Klärung konnte im Zeitrahmen des Zwischenberichtes noch nicht herbeigeführt werden.
- Einzelne Gebäude von drei Baufeldern wurden stichprobenartig auf deren **Verschattungssituation** geprüft. Dabei stellte sich heraus, dass innerhalb eines Feldes sowie z.T. zwischen den Feldern die Verschattung nicht komplett berücksichtigt wurde. Aus diesem Grund wurde die Verschattung für ein Baufeld exemplarisch aktualisiert. Der Heizwärmebedarf hat sich dadurch um 0,2 bis 0,4 kWh/(m²a) erhöht (je nach Wetterdatensatz und Innentemperatur). Da die Abweichung nur gering ist, wurde diese Korrektur nicht weiter berücksichtigt.
- Die beiden untersuchten Studentenwohnheime wurden für den Vergleich mit dem Verbrauchsdaten einheitlich mit internen Wärmequellen (IWQ) von 2,1 W/m² berechnet. Dazu wurden in einem der PHPPs die IWQ verändert. Welche Werte für moderne Studentenwohnheime passend sind, müsste genauer untersucht werden. Aufgrund der heute typischen Zimmergrößen und zusätzlichen Gemeinschaftsflächen scheint eine Annäherung an die üblichen Werte für Wohnnutzung realistisch.
- Bei zwei Gebäuden eines Baufeldes waren die IWQ in projektspezifischen Berechnungen erstellt worden. Hier wurde ebenfalls auf die Standardwerte von 2,1 W/m² umgestellt.

Weitere Prüfungen und Änderungen an den PHPPs wurden nicht durchgeführt. Die durchgeführten Anpassungen sind bei den im Folgenden dargestellten Werten berücksichtigt.

In Abbildung 9 sind die Heizwärmeverbrauchswerte (vgl. Abschnitt 1.5) mit den je Baufeld zusammengeführten PHPP-Berechnungen dargestellt. Für die PHPP-Bedarfswerte sind die Ergebnisse mit dem Wetterdatensatz für Heidelberg 2014 dargestellt. Dabei ist der Heizwärmebedarfswert für 20 sowie auch für 21,5°C abgebildet.

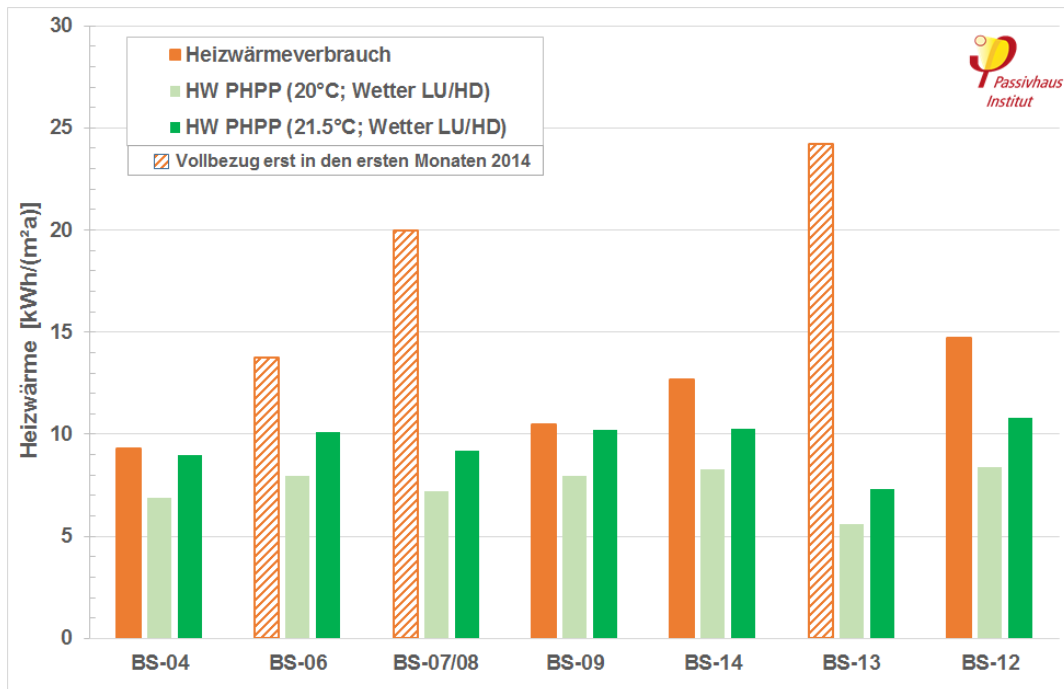


Abbildung 9: Vergleich der Verbrauchsdaten Heizwärme (orange) mit den PHPP-Bedarfs-werten für den Wetterdatensatz Heidelberg 2014 und unterschiedliche Raum-temperaturen für die sieben untersuchten Baufelder in der Bahnstadt.

Mit den oben beschriebenen aktuellen Randbedingungen (übliche Raumlufttemperatur 21,5°C und Wetterdaten HD/LU) im Untersuchungszeitraum können die Verbrauchsdaten am sinnvollsten verglichen werden (orange zur dunkelgrünen Säule).

Für fünf der sieben Baufelder zeigen sich sehr gute Übereinstimmungen mit Abweichungen zwischen 0,3 bis 3,9 kWh/(m²a). Das ist für Vergleiche von Verbrauchsmessungen als hervorragend zu bewerten, insbesondere da es sich hier um ein Minimalmonitoring mit zu erwartenden Messabweichungen in der gleichen Größenordnung handelt. Es kann damit davon ausgegangen werden, dass verlässliche PHPP-Berechnungen vorliegen.

Zwei der untersuchten Projekte (BS-07/08 und BS-13) zeigen allerdings mit 10,8 bzw. 16,9 kWh/(m²a) deutlich höhere Unterschiede zwischen den gemessenen Verbrauchsdaten und den PHPP-Berechnungen mit dem Wetterdatensatz HD/LU bei einer Innentemperatur von 21,5°C. Es handelt sich gleichzeitig um die Baufelder mit den höchsten gemessenen Verbrauchswerten.

Hier liegen signifikante Abweichungen vor, für welche unterschiedliche Hauptursachen denkbar sind:

- Der in drei Baufeldern um ein bis drei Monate spätere Vollbezug führt möglicherweise zu einer Verbrauchserhöhung im Jahresergebnis; da der Bezug während der Messperiode in der kalten Jahreszeit stattfand, ist das sogar der wahrscheinlichste Grund.
- Möglicherweise sind einzelne Änderungen an Gebäuden im Bauverlauf in den abschließenden PHPPs dieser Baufelder nicht vollständig eingearbeitet worden.
- Das durchschnittliche Nutzerverhalten der Bewohner dieser Gebäude weicht – trotz der großen Anzahl der Wohnungen - sehr stark von der angenommenen Nutzung ab (das ist an sich nicht wahrscheinlich, ließe sich aber durch Komfortmessungen beproben).
- Es gibt nicht optimale Einstellungen oder technische Fehler bei z.B. der Haus- oder Lüftungstechnik, welche zu einer Verbrauchserhöhung führen (z.B. Bypass im internen Fernwärmeverteilnetz, Fehler bei den Thermostaten).

Möglicherweise liegt eine Mischung aus unterschiedlichen Gründen vor – eine Entscheidung darüber wäre derzeit reine Spekulation. Ein Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, genau solche Projekte ausfindig zu machen, um möglicherweise hier genauere Untersuchungen folgen zu lassen. Diese Möglichkeit besteht mit den vorliegenden Ergebnissen.

In Abbildung 10 sind die Ergebnisse der PHPP-Berechnungen für die Heizwärme unter Verwendung unterschiedlicher Wetter-/Klimadaten dargestellt. Die Ergebnisse für die Berechnungen mit dem Klimadatensatz Mannheim (PHPP-Standard) verdeutlichen auch die Milde des Untersuchungsjahres 2014. In kühleren Jahren sind entsprechend höhere Verbrauchswerte zu erwarten. Aber sogar bei Verwendung des Klimadatensatzes Mannheim (langjähriger Durchschnitt früherer Jahre) ergeben sich im Vergleich niedrige Verbrauchswerte von nur 16 bis 18,5 kWh/(m²a).

Auch der Einfluss der jeweils höheren Raumtemperaturen kann für beide Klima- bzw. Wetterdatensätze gut abgelesen werden: Es ergeben sich Erhöhungen der Bedarfswerte Heizwärme je Kelvin Temperaturerhöhung der Raumluft von typisch 15 %.

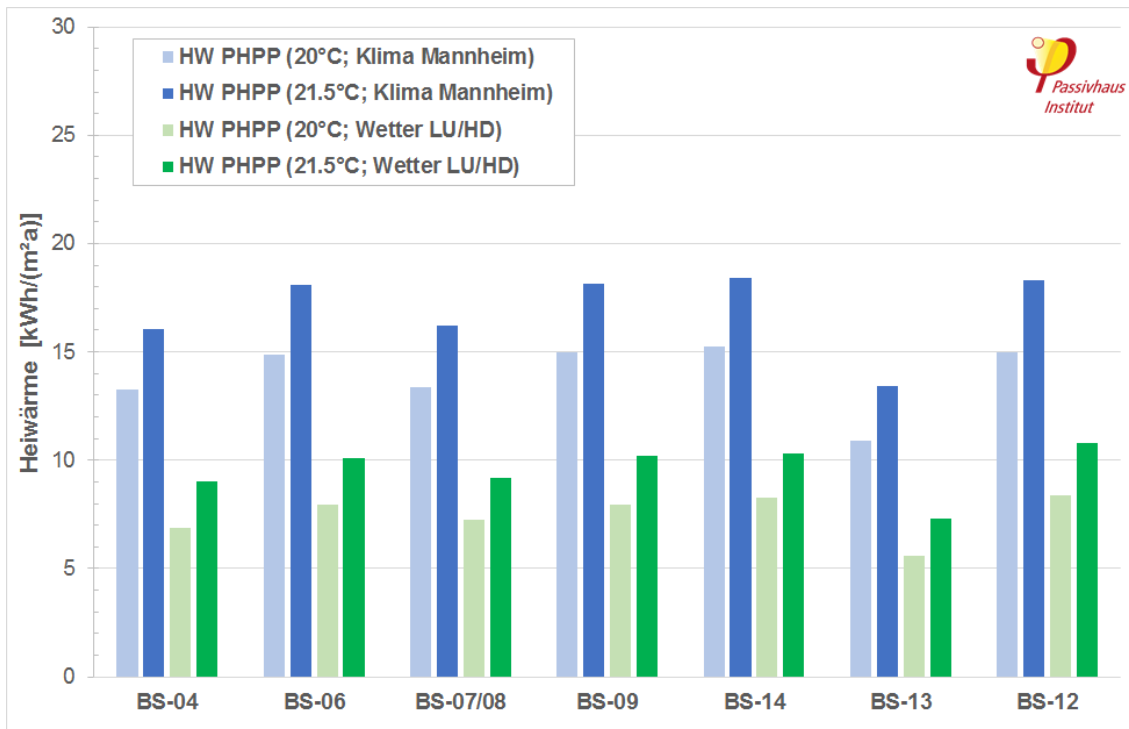


Abbildung 10: Vergleich der Bedarfswerte Heizwärme aus den PHPP-Berechnungen für die unterschiedlichen Klima-/Wetterdatensätze und Raumtemperaturen für die sieben untersuchten Baufelder in der Bahnstadt.

2 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Im Gesamtdurchschnitt verbrauchen die hier untersuchten Gebäude mit in der Summe über 75.000 m² Nutzfläche mit 55 kWh/(m²a) nur etwa ein Drittel der Fernwärme von vergleichbaren bestehenden Gebäuden für Heizung, Warmwasser, Verteil- und Speicherverluste zusammen. Das ist vergleichbar mit den Ergebnissen bei zuvor detailliert untersuchten Passivhäusern mit Fernwärmeanschluss.

Der Heizfernwärmeverbrauch liegt im Durchschnitt bei um 15 kWh/(m²a) (±4). Dies ist für einen Erstjahresverbrauch ein hervorragendes Ergebnis. Der Erstjahreseffekt (z.B. durch Bautrocknung, Einstellung der technischen Anlagen) führt nach diversen Studien aus der Schweiz immer zu einem Mehrverbrauch, der zwischen 15 und 30% des regulären Verbrauchs betragen kann. Bei zwei erst während des Messjahres bezogenen Baufeldern liegen höhere Messwerte vor, die vermutlich auf Auswirkungen der Einzugsaktivitäten zurückgehen.

Der Vergleich mit den Werten der PHPP-Projektierung (neu berechnet mit den aktuellen Wetterdaten) liefert eine hervorragende Korrelation mit Mess-/Berechnungsabweichungen von weniger als ± 4 kWh/(m²a), die somit im Rahmen der Messgenauigkeit liegt – nur die beiden oben schon erwähnten während des Messzeitraums bezogenen Objekte liegen jenseits dieser Marke. Grundsätzlich wird eine kontinuierliche Überprüfung von technischen Anlagen und Einstellparametern, insbesondere bei den „Ausreißern“, empfohlen.

Die durch die Passivhausprojektierung angestrebte Heizenergieeinsparung von etwa 87% gegenüber dem von Fa. Techem gemessenen Durchschnittswert von 112 kWh/(m²a) wurde mit dem vorliegenden Projekt – trotz einzelner Ausreißer - schon im ersten Betriebsjahr mit 81% nahezu erreicht.

3 Quellenangaben

- [Feist 2004] Feist, W.: **Wärmeübergabeverluste im Licht der Baupraxis**. In: Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus. Protokollband Nr. 28 des Arbeitsreises kostengünstige Passivhäuser Phase III, Passivaus Institut, Darmstadt 2004.
- [Peper 2008] Peper, S.: **Passivhaus-Heizsysteme in der Praxis. Ergebnisse und Erfahrungen aus der Feldmessung**. In: Protokollband 38 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase IV; Passivhaus Institut; Darmstadt 2008.
- [Peper 2012a] Peper; S.: **Messung zur Verbrauchskontrolle – „Minimal-monitoring“**. In: Richtig messen in Energiesparhäusern; Protokollband 45 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V, Passivhaus Institut, 2012
- [Peper 2012b] Peper; S.: **Messkonzepte, Störgrößen und adäquate Lösungen**. In: Richtig messen in Energiesparhäusern; Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V, Passivhaus Institut, 2012
- [Peper/Grove-Smith/Feist 2009]: Søren Peper; Jessica Grove-Smith; Prof. Dr. Wolfgang Feist: **Sanierung mit Passivhauskomponenten, Messtechnische Untersuchung und Auswertung Tevesstraße Frankfurt a.M.**, Bericht im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2009. Download unter: www.passiv.de