

Monitoring Energieverbrauch Bahnstadt Heidelberg

Soeren Peper, Passivhaus Institut

Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt, Telefon: +49 (0) 61 51 82 69 90,

soeren.peper@passiv.de

Robert Persch, Stadt Heidelberg; Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie
Am Kornmarkt 1, 69117 Heidelberg

Robert.persch@heidelberg.de

1 Bahnstadt Heidelberg in PH-Standard

Der neue Stadtteil Bahnstadt in Heidelberg ist eines der größten nachhaltigen Stadtentwicklungsprojekte in ganz Deutschland und die derzeit größte Passivhaussiedlung weltweit. Die Entwicklung des Stadtteils Bahnstadt schreitet kontinuierlich voran, die ersten zweitausendfünfhundert Bewohner sind bereits eingezogen, die Infrastruktur in weiten Teilen bereits fertiggestellt. Mit dem Beschluss der Umsetzung des Energiekonzepts Bahnstadt im Jahr 2007 hat der Heidelberger Gemeinderat den Themen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien einen ganz besonderen Stellenwert in der Stadtentwicklung eingeräumt. Mit der Festlegung des Energieeffizienzstandards Passivhaus für alle Neubauten in der Bahnstadt wurden klare Vorgaben an den zukünftigen Heizenergieverbrauch und den Primärenergieverbrauch gemacht. Im Rahmen einer Qualitätssicherung werden im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens die Einhaltung der Passivhaus-Kennwerte und die wichtigsten Bauschritte stichprobenartig auf der Baustelle überprüft. Diese Vorgaben sind in städtebaulichen Verträgen, Kaufverträgen und Bebauungsplänen fixiert. Neben den „harten“ Auflagen werden die Investoren aber auch seitens der Stadt und der Klimaschutzberatungsagentur beratend unterstützt und im Rahmen des Förderprogramms „Rationelle Energieverwendung“ finanziell gefördert.



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

2 Monitoring zur Erfolgskontrolle

Der Erfolg des Passivhaus-Baugebietes „Bahnstadt-Heidelberg“ wurde mit Hilfe eines Monitorings überprüft [Peper 2015]. Es lagen monatliche Zählerablesungen für den gesamten Wärmeverbrauch (Heizung, Warmwasser, Verluste etc.) ganzer Baufelder mit jeweils über hundert Wohnungen vor. Die Datenauswertung erfolgt im Rahmen eines sogenannten Minimalmonitorings, bei dem der Heizwärmeverbrauch aus den Monatsmittelwerten in einer guten Näherung ermittelt wird. Das Verfahren ist im Protokollband Nr. 45 „Richtig messen in Energiesparhäusern“ des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser genauer beschrieben. [Peper 2012]. Der Zwischenbericht für die Verbräuche des Jahres 2014 zeigt die Jahresergebnisse, die Verbrauchswerte des Jahres 2015 werden Anfang 2016 erstellt und können ergänzend auf der 20. PH-Tagung präsentiert werden.

Von sieben Baufeldern mit Wohnbebauung (698 Wohnungen, 61.981 m²) und Studentenwohnheimen (564 Wohnungen, 15.457 m²) werden die Verbrauchsdaten ausgewertet. Als Energiebezugsfläche dienen hier die nach PHPP definierten Nutzflächen (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. Die untersuchten Gebäude sind mind. ein volles Jahr bezogen. Bei drei Baufeldern gilt dies nur mit Einschränkung, da der Vollbezug vermutlich erst um ein bis drei Monate später erfolgte (Januar bis März 2014). Ob diese Umstände der vollständigen Belegung in diesen Gebäuden zu einem Mehr- oder Minderverbrauch geführt haben, ist nicht bekannt - beides wäre möglich.

Aus den Monatsverbrauchswerten kann in den Kernsommermonaten der Aufwand für alle Aufwendungen (Warmwasser, Verteilung, Speicherung) ermittelt werden, welche unabhängig von der Beheizung der Gebäude sind. Dabei wird angenommen, dass ungeplante und unerwünschte Sommerbeheizungen nicht durchgeführt werden. 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. Wird nun dieser Sommerverbrauchsmittelwert auf das Jahr hochgerechnet, ergibt sich der jährliche Aufwand für die „Aufwendungen ohne Heizung“; Er wird hier zur Abkürzung als sog. **„Sockelverbrauch“** bezeichnet. Alle Verbrauchswerte in den übrigen Monaten, welche sich nun oberhalb des Sockelverbrauchs befinden, werden als „Heizwärmeverbrauch“ gewertet. Die Wärmeabgabe der Verteilleitungen wird bei diesem einfachsten Ansatz als im Jahresverlauf konstant angenommen.

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**: Geringerer sommerlicher Warmwasserverbrauch (Überschätzung 1 bis 2 kWh/(m²a); moderater Ansatz 10 % Winter- zu Sommerüberhöhung), Beheizung Tiefgarageneinfahrten (Abschätzung: 0,1 bis 0,3 kWh/(m²a)), mögliche ungewollte Beheizungen (z.B. im Monat Mai) aufgrund von Fehlbedienung (im Mai 0,4 und 1,2 kWh/m²; im Mittel 0,7 kWh/m²), sowie höhere winterliche Wärmeabgabe der Verteilungen im Erdreich / Kellerbereich (Abschätzung 0,2 kWh/(m²a)).

In der Summe der hier dargestellten Effekte ergibt sich durch die 1. Näherung („Sockel-methode“) 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 Heizungsfern-wärmeverbrauch zu erreichen. 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.

2.1 Auswertung und Einordnung der Messergebnisse

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)**. Bei der hier durchgeführten Auswertung der Verbrauchsdaten muss berücksichtigt werden, dass die erreichbare Genauigkeit begrenzt ist. 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.

Bei der Beurteilung insbesondere der Heizwärmeverbrauchswerte muss berücksichtigt werden, dass die Verbrauchsdaten maßgeblich vom jeweiligen Wetter des Untersuchungs-zeitraumes 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 die realen Raumtemperaturen zu berücksichtigen welche in der

Planung nicht bekannt sind. 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 $14,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, 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 m^2 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 2) 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. $24 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) 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.

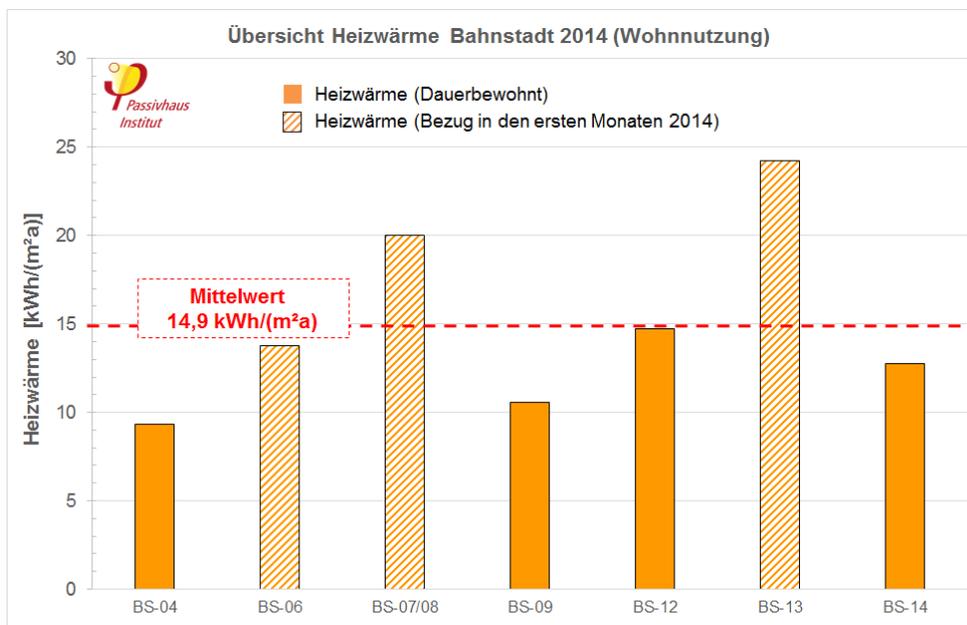


Abbildung 2: Jährliche Heizwärmeverbrauchswerte in der Bahnstadt für wohngenutzte Gebäude (inkl. Studentenheimen) nach Baufeldern getrennt.

2.2 Vergleich Heizwärmeverbrauch mit PHPP-Planungsdaten

Als Planungstool wird bei allen Gebäuden in der Bahnstadt das PHPP verwendet. Es wird von der Stadt Heidelberg auch zur Qualitätssicherung der Planung herangezogen. Eine Zertifizierung der Gebäude durch das Passivhaus Institut oder eine akkreditierte Zertifizierungsstelle erfolgte 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.

Die vorliegenden PHPPs wurden mit den Wetterdaten des Messjahres vom Standort ergänzt. Aufgrund der fehlenden Messungen der Innentemperaturen wurden als Erfahrungswert 21,5 °C angenommen. Die hier mittels Minimalmonitoring untersuchten Gebäude sind in insgesamt 30 PHPPs bilanziert. Da nur ein Wärmemesser je Baufeld vorhanden ist, werden die Bedarfswerte der Heizwärme aus den einzelnen PHPPs des Baufeldes flächengewichtet zu einem Vergleichswert des Baufeldes zusammengefasst. 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. In Abbildung 3 sind die Heizwärmeverbrauchsdaten mit den je Baufeld zusammengeführten PHPP-Berechnungen dargestellt (für 20 und 21,5°C).

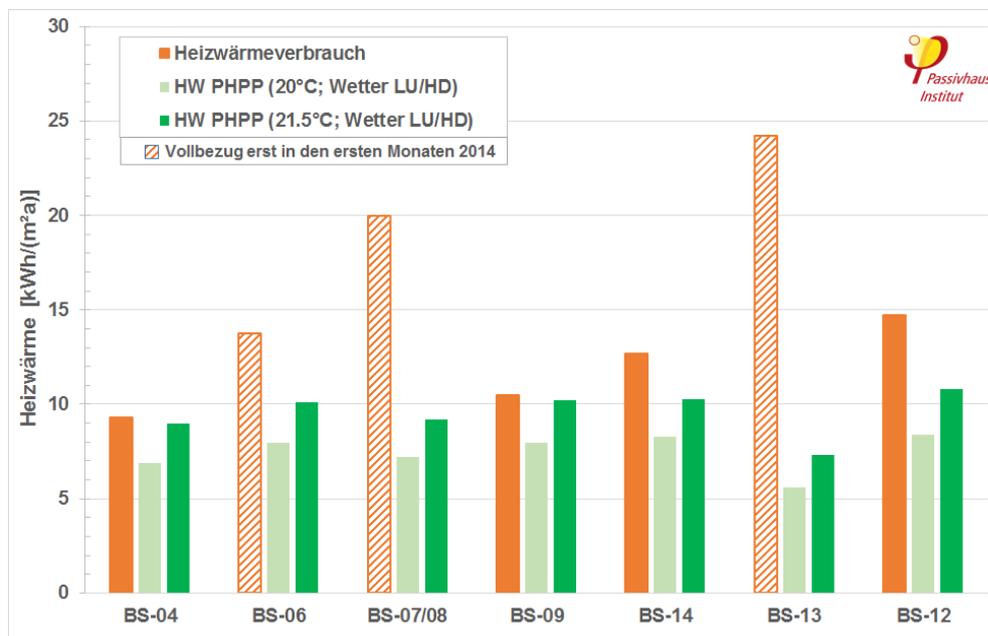


Abbildung 3: Vergleich der Verbrauchsdaten Heizwärme (xxx) mit den PHPP-Bedarfswerten für den Wetterdatensatz Heidelberg 2014 und unterschiedliche Raumtemperaturen für die sieben untersuchten Baufelder in der Bahnstadt.

Mit den beschriebenen Randbedingungen (übliche Raumlufttemperatur 21,5°C und tatsächlichen Wetterdaten) im Untersuchungszeitraum können die Verbrauchsdaten am sinnvollsten verglichen werden. 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. Es handelt sich gleichzeitig um die Baufelder mit den höchsten gemessenen Verbrauchswerten. Hier liegen signifikante Abweichungen vor, für welche unterschiedliche Hauptursachen denkbar sind: späterer Vollbezug der Gebäude, nicht berücksichtigte Änderungen im Bauablauf, stark abweichendes Nutzerverhalten (unwahrscheinlich) oder nicht optimale Einstellungen bzw. technische Fehler. Möglicherweise liegt eine Mischung aus unterschiedlichen Gründen vor.

3 Fazit

Im Gesamtdurchschnitt verbrauchen die hier untersuchten Gebäude (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), was für einen Erstjahresverbrauch ein hervorragendes Ergebnis ist. 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 Durchschnittswert von 112 kWh/(m²a) wurde mit dem vorliegenden Projekt – trotz einzelner Ausreißer - schon im ersten Betriebsjahr mit 81% nahezu erreicht.

- [Peper 2012] Peper; S.: **Messung zur Verbrauchskontrolle – „Minimalmonitoring“**. In: Richtig messen in Energiesparhäusern; Protokollband 45 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V, Passivhaus Institut, 2012
- [Peper 2015] Peper; S.: Monitoring in der Passivhaus-Siedlung Bahnstadt Heidelberg, Zwischenbericht 2014. Passivhaus Institut, 2015

Kurz-Zusammenfassung

Monitoring Energieverbrauch Bahnstadt Heidelberg

In der Passivhaus Siedlung Bahnstadt-Heidelberg wurde in Wohngebäuden (über 1.200 Wohnungen mit über 75.000 m² Wohnfläche) eine Verbrauchsuntersuchung durchgeführt. Der Heizwärmeverbrauch liegt im Durchschnitt bei um 15 kWh/(m²a) (± 4), was ein hervorragendes Ergebnis in der Breitenumsetzung darstellt.