

Energie-Monitoring der Jahre 2014 bis 2017

für die Wohngebäude im
Passivhaus-Stadtteil
Heidelberg-Bahnstadt

Erstellt durch:



KIiBA

**Klimaschutz- und
Energie-
Beratungsagentur**

Heidelberg – Rhein-Neckar-Kreis
gGmbH

Klimaschutz- und Energie-Beratungsagentur

Heidelberg – Rhein-Neckar-Kreis gGmbH

Wieblinger Weg 21

69123 Heidelberg

Bearbeitung: Dipl.-Phys. Walter Orlik

Heidelberg, im November 2018

Inhaltsverzeichnis¹

1	Vorwort.....	2
2	Fernwärme	3
3	Strom.....	16
4	Gesamtbilanz	26
5	Fazit	30
	Literatur	32

Luftbilder Titelblatt und Seite 2: Kay Sommer

1 Vorwort

In der Bahnstadt entsteht das größte Passivhausgebiet weltweit und somit ein energieeffizienter und vor allem zukunftsweisender Stadtteil. Um die erzielten Ergebnisse zu überprüfen, hat die Stadt Heidelberg die KliBA gGmbH mit der Auswertung der Verbrauchswerte (Wärme und Strom) beauftragt.

Das Monitoring für den 1. Bauabschnitt wurde durch das Passivhaus-Institut, Darmstadt, für die Jahre 2014 und 2015 durchgeführt [PHI 2016]. Damals wurden 7 Baufelder mit Wohnnutzung untersucht².

Diese Ergebnisse werden nun als Basisdaten verwendet und im vorliegenden Bericht sowohl räumlich (2. Bauabschnitt) als auch zeitlich (Abrechnungsperioden 2016 und 2017) fortgeschrieben. Zur Auswertung kommen 14 Baufelder mit überwiegender Wohnnutzung, wobei auch Gewerbeflächen einbezogen sind (meist Ladengeschäfte im Erdgeschoss). Die Gebäude haben insgesamt 153.370 m² Wohn- bzw. Nutzfläche, 2.268 Wohneinheiten und 31 Gewerbeeinheiten. Im folgenden Luftbild sind die betroffenen Baufelder mit ★ markiert.

Die Verbrauchsdaten werden von der Stadt Heidelberg bereitgestellt. Sie sind auf Ebene des Baufeldes erhoben und anonymisiert, so dass der erforderliche Datenschutz gewährleistet ist.

Die Auswertung, die als „Minimal-Monitoring“ bezeichnet werden kann, ermöglicht einen ausreichenden Detaillierungsgrad. Im Einzelnen werden erarbeitet

- Jahresverbrauch für Strom und Wärme je Baufeld
- Ausweisung des Heizwärmeverbrauchs, Warmwasserverbrauchs und der Verluste nach der Methodik der PHI Studie. Für den Bereich Wärme werden deshalb Monatsdaten benötigt.
- Vergleich des realen Verbrauchs mit den Hauptkriterien der Passivhausbauweise
- Kennzahlenbildung pro m² Energiebezugsfläche (Passivhaus) und A_N (EnEV) sowie Wohn- und Nutzfläche
- Gesamtbewertung der Primärenergie und der CO₂-Emissionen.
- Tabellarische und grafische Auswertung



² Im Zwischenbericht waren auch drei Nicht-Wohngebäude analysiert [PHI 2015].

2 Fernwärme

2.1 Energieverbrauch Fernwärme

Die Erschließung der Bahnstadt erfolgt in Baufeldern, die jeweils einen oder maximal zwei Hauptwärmehähler haben. Die Monatsdaten werden jährlich ausgelesen und dann für das Minimalmonitoring weiter verarbeitet.

Die Kennwerte werden mit der Energiebezugsfläche (EBF) ermittelt, die in Wohngebäuden im Wesentlichen aus der beheizten Wohnfläche besteht, jedoch auch die Allgemeinflächen³ (mit einem Abschlag von 40%) enthält. Diese Fläche ist typischerweise kleiner als die fiktive „Nutzfläche“ A_N nach EnEV, die aus dem Bruttovolumen ermittelt wird.

Aus verschiedenen Gründen waren nicht für alle 14 Baufelder auswertbare Daten verfügbar:

- Teilbezug der Wohnungen. Es werden nur Baufelder berücksichtigt, in denen der Bezug bereits im Vorjahr begonnen hat.
- Datenlücken durch Ausfall der Zähler oder fehlende Ablesung

Die folgende Tabelle zeigt das Wachstum der Bahnstadt und die Anzahl der Wohnbaufelder, die im Bereich Wärme auswertbar waren.

Jahr	2014	2015	2016	2017	
Baufelder	7	9	12	13	[Stück]
Energiebezugsfläche (EBF)	80.903	101.170	133.444	142.778	[m ²]
Wohneinheiten (WE)	1.325	1.545	2.047	2.151	[Stück]
Gewerbeeinheiten	13	19	23	31	[Stück]

Tabelle 1: Übersicht der Baufelder Wärme

2.2 Verfahren Minimalmonitoring

Die Methodik folgt im Wesentlichen der Auswertung der Vorjahre [PHI 2016]. Sie ist dort ausführlich beschrieben und wird hier nur zusammengefasst.

Die Summenwerte der Hauptwärmehähler enthalten schwer trennbare Anteile für folgende Nutzungen:

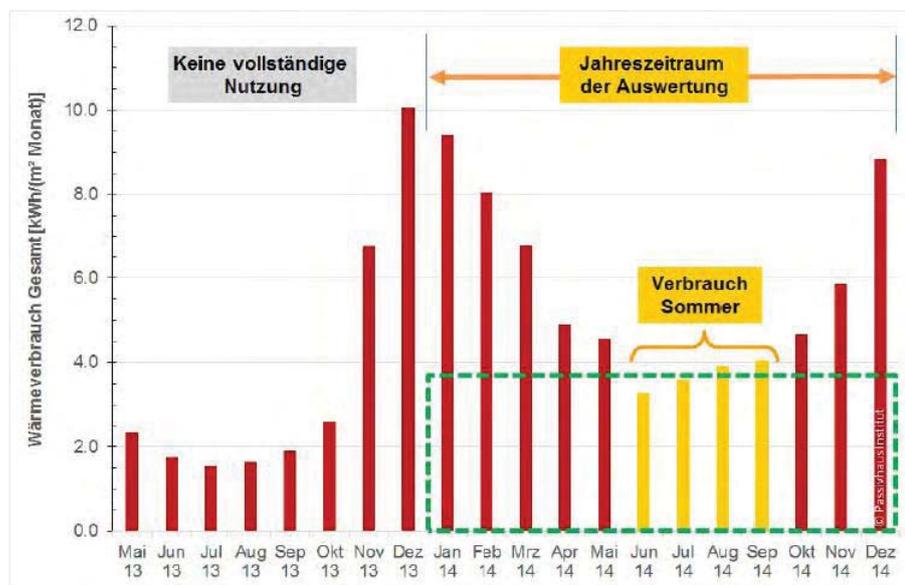
- Heizwärme
- Warmwasser-Bereitung
- Wärmeabgabe der Verteilleitungen (nutzbare und nicht nutzbare)
- Übergabeverluste der Fernwärmestation
- Speicherverluste der Warmwasserspeicher
- Sonstiges, wie z.B. Rampenheizung der Tiefgarageneinfahrt

³ Nebenräume und Verkehrsflächen außerhalb von Wohnungen oder im Keller, sofern sie sich im beheizten Volumen befinden

Beim Energie-Monitoring interessiert vor allem die Heizwärme, konkret ob der Heizwärme-Kennwert von 15 kWh/(m²a) als zentrales Passivhaus-Kriterium eingehalten werden kann. Die Herleitung dieses Wertes erfolgt in zwei Schritten:

„Erste Näherung“: Bestimmung des Sockel-Verbrauchs

Es wird angenommen, dass der Sommer (heizfreie Zeit, Juni bis September) repräsentativ ist für alle Nutzungen außer „Heizwärme“ und „Sonstiges“. Die folgende Grafik aus [PHI 2016], Seite 8, verdeutlicht dieses Vorgehen. Der Sockel wird auf 12 Monate hochgerechnet und abgezogen.



„Zweite Näherung“: Korrekturen des Sockel-Verbrauchs

Bei der ersten Näherung wird der Sockel eher unterschätzt:

- Warmwasser-Verbrauch: Der Verbrauch ist im Winter höher als im Sommer,
- Rampenheizung: Zum Teil wird die Rampe der Tiefgarage mit Fernwärme frostfrei gehalten.
- Verteilverluste: Die Verluste sind im Winter höher als im Sommer.
- Ungewollte Beheizung: Vor allem im Mai treten Phasen auf, in denen Wärme weggelüftet wird.

Die verschiedenen Korrekturen ergeben zusammen einen Wert von 3,1 bis 4,7 kWh/(m²a), der in der zweiten Näherung ebenfalls abgezogen wird⁴.

Eine Witterungsberreinigung findet in dieser Systematik nicht statt. In einem Passivhaus müssten nicht nur die Verluste bereinigt werden (Heizgradtage), sondern auch die Gewinne (Globalstrahlung), was eine Nachberechnung aller PHPP-Bilanzen erfordern würde. In [PHI 2016], Kapitel 2.5, wurde das zum Teil unternommen, war im vorliegenden Bericht aber nicht gefordert. Siehe auch Abschnitt „Witterungsberreinigung“ auf Seite 8.

⁴ In Anlehnung an [PHI 2016] werden die Anteile a. bis c. in der Summe pauschal zu 2,5 kWh/(m²a) angesetzt; Herleitung und Begründung siehe Quelle. Anteil d. wird projektspezifisch ermittelt.

2.3 Auswertung Energieverbrauch

Fernwärme gesamt

Die folgende Abbildung 1 stellt den Wert „Fernwärme gesamt“ dar, d.h. die Jahresarbeit am Hauptwärmemengenzähler. Dargestellt sind die Jahre 2014 bis 2017, soweit nutzbare Daten vorlagen (EE = Endenergie).⁵

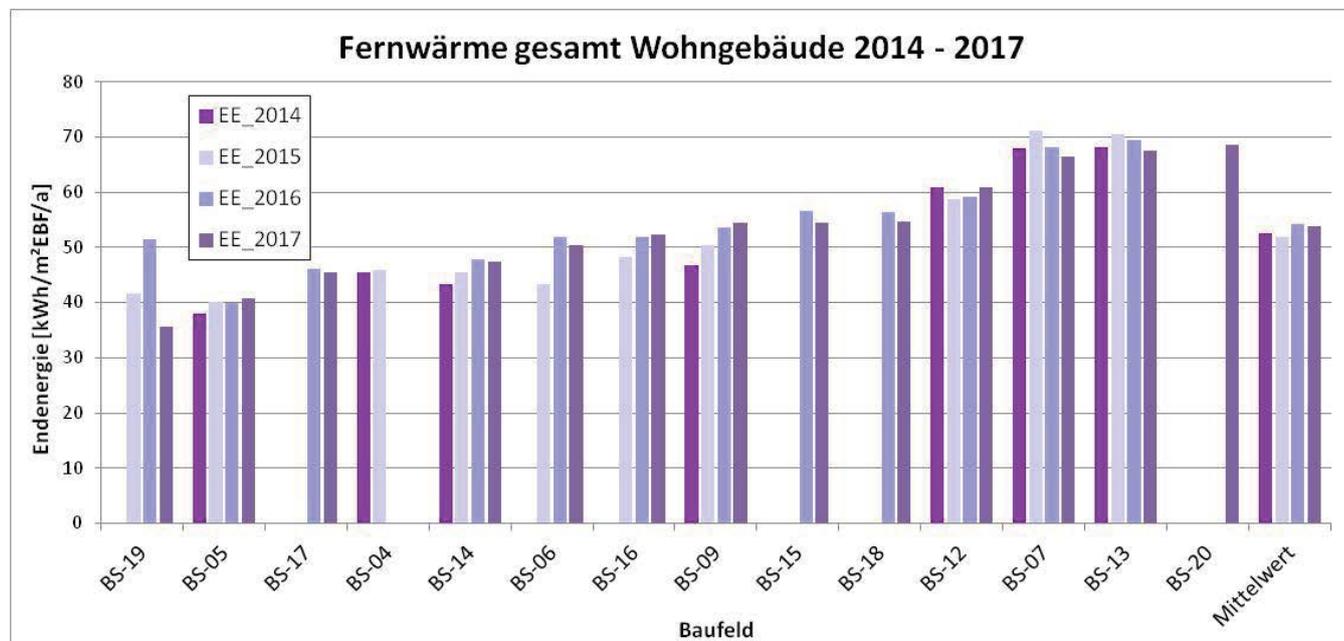


Abbildung 1: Fernwärme gesamt

Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2017. Es zeigt sich, dass die Werte eine große Spannweite zwischen 35,8 und 67,8 kWh/(m²a) aufweisen. Die Ursache für die teilweise auffallenden Werte und Entwicklungen ist nur durch eine genauere Analyse und im Austausch mit den Nutzern zu klären. Dies wird durch die Stadt Heidelberg in einer zweiten Stufe des Monitoring derzeit angestrebt.

Die Kategorie „Mittelwert“ ganz rechts zeigt die jeweiligen Jahres-Mittelwerte aller Baufelder. Neben dem Einfluss der Witterung spielen hier auch Änderungen bei der Anzahl der Objekte eine Rolle. Trotz der grundlegenden Änderung der Stichprobe ist der Mittelwert aber annähernd konstant; er lag in 2017 bei einem Wert von 53,7 kWh/(m²a).

⁵ Für die Jahre 2014 und 2015 mussten die Daten z.T. rückwirkend korrigiert werden, so dass auch die Mittelwerte gegenüber [PHI 2016] leicht abweichen.

Aufteilung nach Sockel und Heizwärme

Abbildung 2 zeigt die Aufteilung nach der Methodik aus Abschnitt 2.2, soweit Daten vorlagen. Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Summenwert des Jahres 2017. Der Sockel trägt in der Größenordnung 2/3 des Verbrauchs, was der Analyse [PHI 2016] entspricht. Dabei gibt es auffällige „Ausreißer“ mit niedrigen (41%) und hohen (80%) Sockelanteilen.

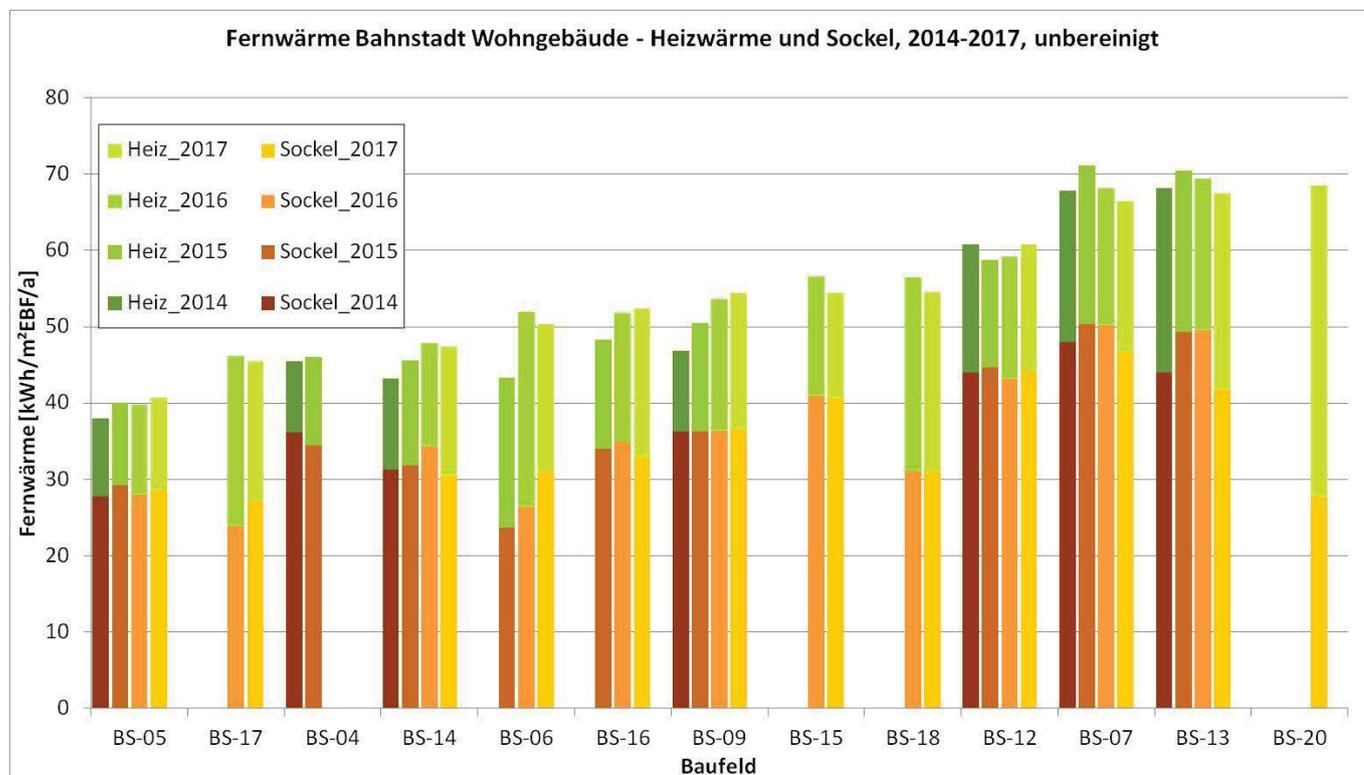


Abbildung 2: Heizwärme und Sockel

Die nachfolgenden Abschnitte diskutieren den Verlauf der beiden Anteile.

Heizwärme

Abbildung 3 beinhaltet die zentrale Aussage im Bereich Wärme und den Vergleich mit dem Passivhaus-Kriterium „Heizwärme bis 15 kWh/(m²a)“, siehe gepunktete Linie.

Die Bandbreite lag hier in 2017 zwischen 12,1 und 40,7 kWh/(m²a) bei einem Mittelwert von 19,9 kWh/(m²a). Der Mittelwert ist von Jahr zu Jahr gestiegen und liegt jetzt deutlich über dem Kennwert von 15 kWh/(m²a). Die Ursachen können wie folgt diskutiert werden:

- Messungen in realisierten Gebäuden zeigen typische Innentemperaturen von 21,5 statt 20°C (Rebound-Effekt, [PHI 2016]), siehe auch Abschnitt „Witterungsberreinigung“. Dieser Aspekt ist vermutlich dominant.
- Änderung der Stichprobe. Neue Baufelder haben z.T. hohe Kennwerte; insbesondere ist in Baufeld BS-20 ein Ausreißer durch die Inbetriebnahme anzunehmen. Dagegen fehlen Daten für das „beste“ Baufeld BS-04 für die Jahre 2016 und 2017.
- Witterungseffekte. Die Baufelder zeigen keinen einheitlichen Verlauf (z.B. in Bezug auf das kalte Jahr 2016), so dass dieser Aspekt wohl untergeordnet ist. Siehe auch Abschnitt „Witterungsberreinigung“.
- Allmählicher Bezug der Wohnungen.

- „Trockenheizen“: Bei Neubauten in Massivbauweise wird manchmal berichtet, dass die Austrocknung von Putzen und Estrichen in der ersten Heizperiode erhöhte Verbrauchswerte verursacht. Ein solcher Effekt ist in der Bahnstadt nicht systematisch erkennbar.

Weiterhin haben die technischen Randbedingungen vermutlich einen starken Einfluss; die Zusammenhänge könnten nur durch nähere Analysen vor Ort geklärt werden:

- Konzeption Heizung. Alle Gebäude haben eine statische Heizung, teils mit Heizkörpern, teils als Fußbodenheizung.
- Auslegung Lüftung. Bei zentralen Anlagen ist meist auch ein Heizregister vorhanden (Nachheizung nach der Wärmerückgewinnung).
- Betriebsführung

Zu beachten ist auch, dass die Genauigkeit der Methode begrenzt ist; sie wird in [PHI 2016] zu $\pm 4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ abgeschätzt.

Zusammengenommen liegt die Heizwärme auf einem absolut so niedrigen Niveau, dass die Bahnstadt die Erwartungen durchaus erfüllt hat. Die spannende Aufgabe ist im Grunde die Analyse des Sockelverbrauchs, siehe nächster Abschnitt.

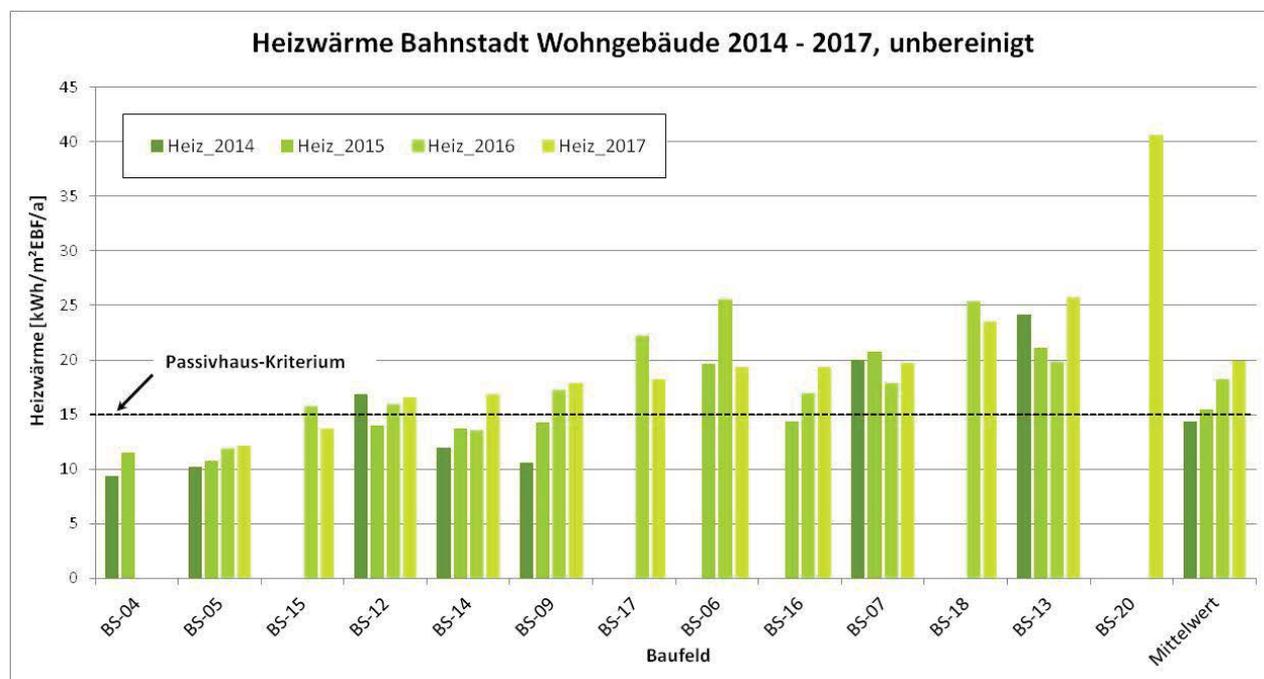


Abbildung 3: Heizwärme der Wohnbaufelder, unbereinigt, Messgenauigkeit im Bereich $\pm 4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Sockel

Abbildung 4 zeigt den Sockelverbrauch, soweit Daten vorlagen. Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2017. Der Mittelwert ist tendenziell gesunken, da die Werte im zweiten Bauabschnitt oft niedrig sind; er lag in 2017 bei einem Wert von $35,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Auch hier gibt es eine große Spannweite zwischen 24 und $47 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Sofern Daten über 4 Jahre vorliegen, ist die zeitliche Entwicklung sehr uneinheitlich. Während einzelne Baufelder konstant sind, zeigen andere eine deutliche Steigerung oder starke Schwankungen. Besonders niedrige Sockel kommen mehrfach vor, wenn das Baufeld noch nicht voll bezogen ist.

In einer zweiten Stufe des Monitoring wäre insbesondere messtechnisch zu erfassen, welcher Anteil einer bestimmten Nutzung zuzuordnen ist (z.B. Warmwasserbereitung) und welcher Anteil als Verlust zu werten ist. In einem Baufeld konnte der Anlagenbetrieb durch Engagement der Nutzer deutlich verbessert werden, was in den Verbrauchswerten auch bereits sichtbar ist.

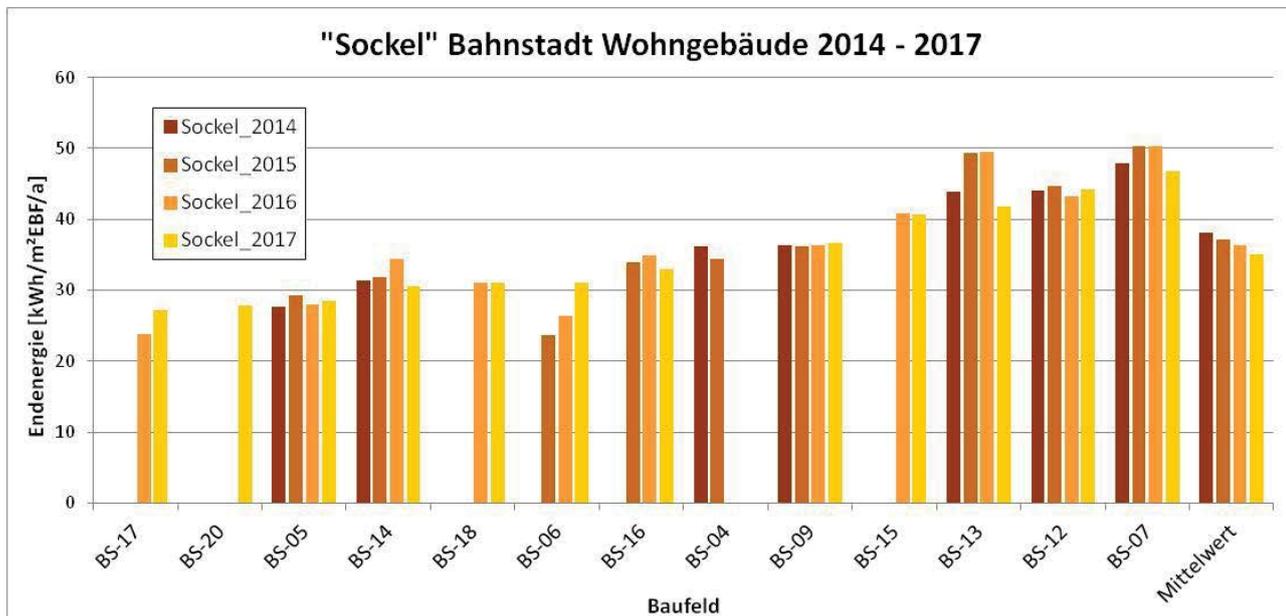


Abbildung 4: Sockel

Die Minimierung der Verluste ist das zentrale Ziel eines zukünftigen vertieften Monitorings. Dabei liegt das Augenmerk primär auf den Wärmeverlusten der Heiz- und Warmwasserleitungen. Diese fallen bei Passivhäusern durchaus ins Gewicht, obwohl der Dämmstandard durchgehend der EnEV entspricht.

Da die Leitungsdämmung i.d.R. nicht mehr zugänglich ist, liegen die Ansatzpunkte vor allem bei der Betriebsweise (Zeitprogramme und Temperaturniveau).

Besonders spannend ist das bei Anlagen, die auch im Sommer Wärmeverluste haben (Warmwasser-Zirkulation, Wohnungsstationen) und somit eine Gefahr für die Behaglichkeit darstellen.

Weiterhin wird auch eine Analyse der sog. „Mininetze“ angestrebt. Damit ist die Verteilung der Wärme innerhalb des Baufeldes gemeint, die ein wichtiger Baustein des ursprünglichen Wärmeversorgungskonzeptes ist [ebök 2007]. Dabei sind u.a. folgende Aspekte zu diskutieren:

- Das Konzept nimmt an, dass die Wärmeverluste der Rohrleitungen den Gebäuden zugutekommen. Das ist bei kalten Untergeschossen nicht der Fall.

- Weiterhin ist angenommen, dass der Sommerbetrieb des Mininetzes außerhalb der Heizzeit nur bei Beladung der Warmwasserspeicher erfolgt (1 x täglich). Dies wurde – soweit bekannt – in der Bahnstadt noch nicht realisiert.

Witterungsbereinigung

Bei effizienten Gebäuden bedeutet eine Witterungsbereinigung sowohl die Bereinigung der Verluste (Gradtagszahlen) als auch der Gewinne (Globalstrahlung). Letzteres bedingt allerdings die Neuberechnung der PHPP-Dateien, da der Effekt von der Ausrichtung der transparenten Bauteile abhängt. Dies war in [PHI 2016] für die Jahre 2014 und 2015 unternommen worden, ist diesmal aber nicht Teil der Auswertung.

Zur ersten Bewertung der Einflussfaktoren wird im Folgenden eine Bereinigung nur der Verluste nach VDI 2067 vorgestellt. Analog zu [PHI 2016] wird dabei von Innentemperaturen bei 21,5°C ausgegangen, was auf einen erwarteten Kennwert von 18,5 kWh/(m²a) führt, siehe gepunktete Linie.

Die Ermittlung der entsprechenden Gradtagszahlen erfolgt über das PHPP-Blatt „Witterung“ mit Hilfe der Monats-Mitteltemperaturen des Deutschen Wetterdienstes⁶. Dabei ist zu beachten, dass die vorliegenden Daten zwar meist das Kalenderjahr betreffen (Jan – Dez), teilweise aber auch das Abrechnungsjahr (Mrz. – Feb.). Durch Bezug der gemessenen Gradtage auf das Normjahr ergibt sich der jeweilige Korrekturfaktor⁷ wie folgt:

Jahr	Korrekturfaktor	
	Kalenderjahr	Abrechnungsjahr
2014	1,29	1,27
2015	1,15	1,18
2016	1,05	0,98
2017	1,13	1,24

Tabelle 2: Korrekturfaktoren für die Bereinigung der Verluste. Faktoren über 1 bedeuten besonders warme Winter.

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis. Demnach liegen die Mittelwerte zunächst leicht schwankend knapp unterhalb des erwarteten Wertes, während in 2017 ein starker Anstieg auf 22,5 kWh/(m²a) zu verzeichnen ist. Daraus ergeben sich Diskussionen wie folgt:

- Für die Jahre 2014-2016 wird der Verbrauchswert weniger von der Witterung als vielmehr von der Innentemperatur beeinflusst.
- Der Anstieg des Mittelwerts im Jahr 2017 ist ohne Weiteres nicht verständlich. Vermutlich kommen zwei Effekte zusammen: Zum Einen ändert sich die Stichprobe⁸ (siehe Seite 6), zum Anderen sind die Verbrauchswerte in vielen Fällen nicht entsprechend des besonders warmen Abrechnungszeitraums gefallen.

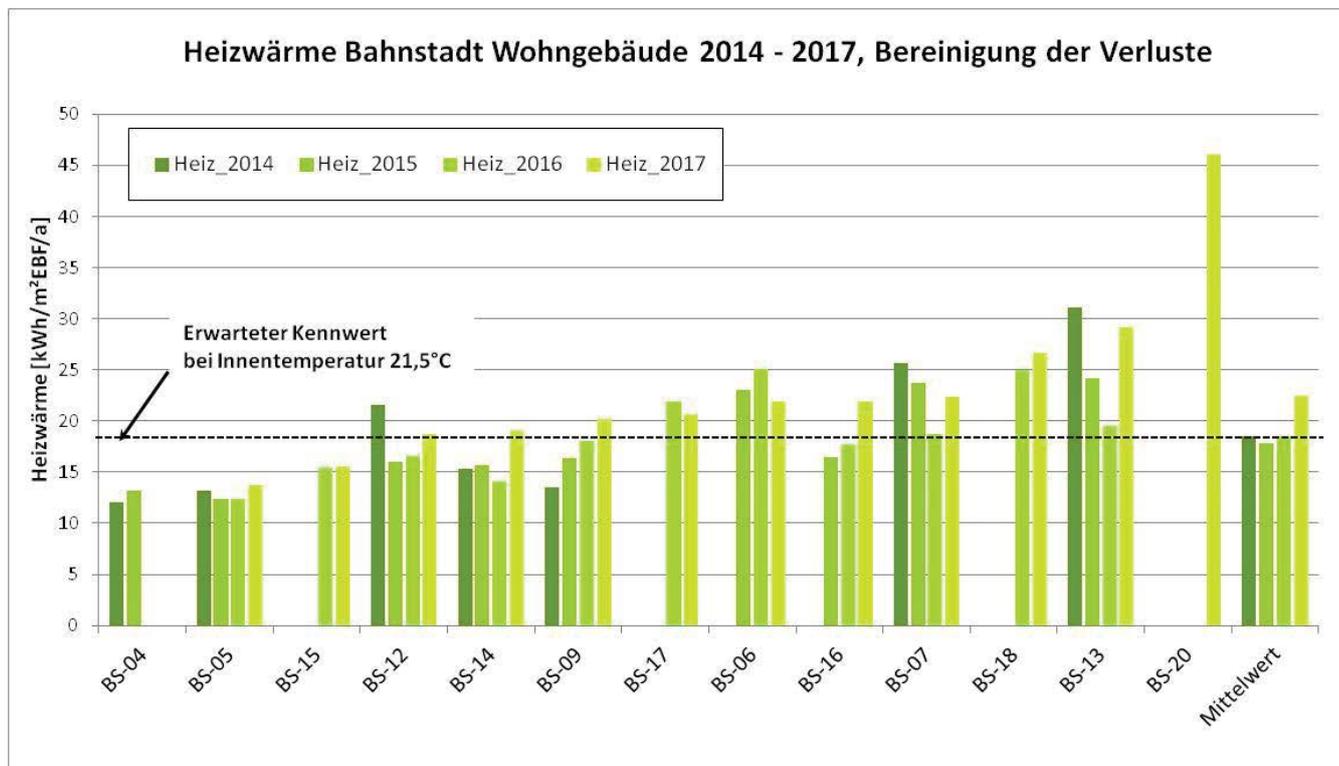


Abbildung 5: Heizwärme der Wohnbaufelder, Verluste witterungsbereinigt, Messgenauigkeit ± 4 kWh/(m²a)

⁶ Die Station Heidelberg ist seit 2012 geschlossen, so dass Daten der Station Mannheim verwendet werden.

⁷ Der Verbrauchswert wird mit dem Korrekturfaktor multipliziert, um den witterungskorrigierten Wert zu erhalten.

⁸ Bei durchschnittlichen Werten in den Baufeldern BS-04 und BS-20 läge der Mittelwert bei 20,1 kWh/(m²a).

Leistungsbezug und abgerechnete Leistung

Die Wärmemengenzähler erlauben es in der Regel, auch Leistungsdaten (Monatsspitzen) auszulesen. Die höchste bezogene Wärmeleistung der Jahre 2015-2017 wird in Abbildung 6 bezogen auf die EBF dargestellt. Sie variiert zwischen 12,1 und 45,5 W/m² bei einem Mittelwert von 21,3 W/m².

Eine Deutung dieser starken Streuung ist ohne weitere Datenaufnahme nicht möglich. Insbesondere haben Gebäude mit hoher Belegung manchmal besonders niedrige, manchmal aber auch besonders hohe spezifische Leistungen.

Im Hintergrund ist die abgerechnete Leistung (Vertragsleistung) dargestellt. In der Regel wird sie bei weitem nicht erreicht; der Mittelwert überschreitet mit 39,3 W/m² den tatsächlichen Bedarf um 85%.

Hier sollten Betriebsoptimierungen mit Augenmaß erfolgen.

- Passivhäuser sind thermisch so träge, so dass der Heizbetrieb während der Ladezeiten des Warmwasserspeichers unterbrochen werden kann (Warmwasser-Vorrangschaltung). Dies war bereits Teil des ursprünglichen Wärmeversorgungskonzeptes [ebök 2007] und wird auch im folgenden Beispiel nochmals aufgegriffen.

- Durch die Mininetze ergeben sich in der Bahnstadt besonders niedrige Gleichzeitigkeitsfaktoren, die notfalls durch Pufferspeicher noch weiter gesenkt werden können.

- Eine allfällige Reduktion der Vertragsleistung wird durch Drosselung der Durchflussmenge realisiert. In Abhängigkeit der hydraulischen Verhältnisse im Gebäude sind dabei in der Praxis oft Grenzen gesetzt; insbesondere werden Rücklauftemperaturen von 40°C in der Regel nicht erreicht.

Allein in den derzeit erfassten Wohnbaufeldern könnte die Vertragsleistung rechnerisch um rund 2,6 MW gesenkt werden, wobei Kosteneinsparungen von fast 120 T€ (netto) pro Jahr entstünden. Dazu finden bereits Gespräche zwischen Stadt Heidelberg, Stadtwerken und Hausverwaltungen statt.

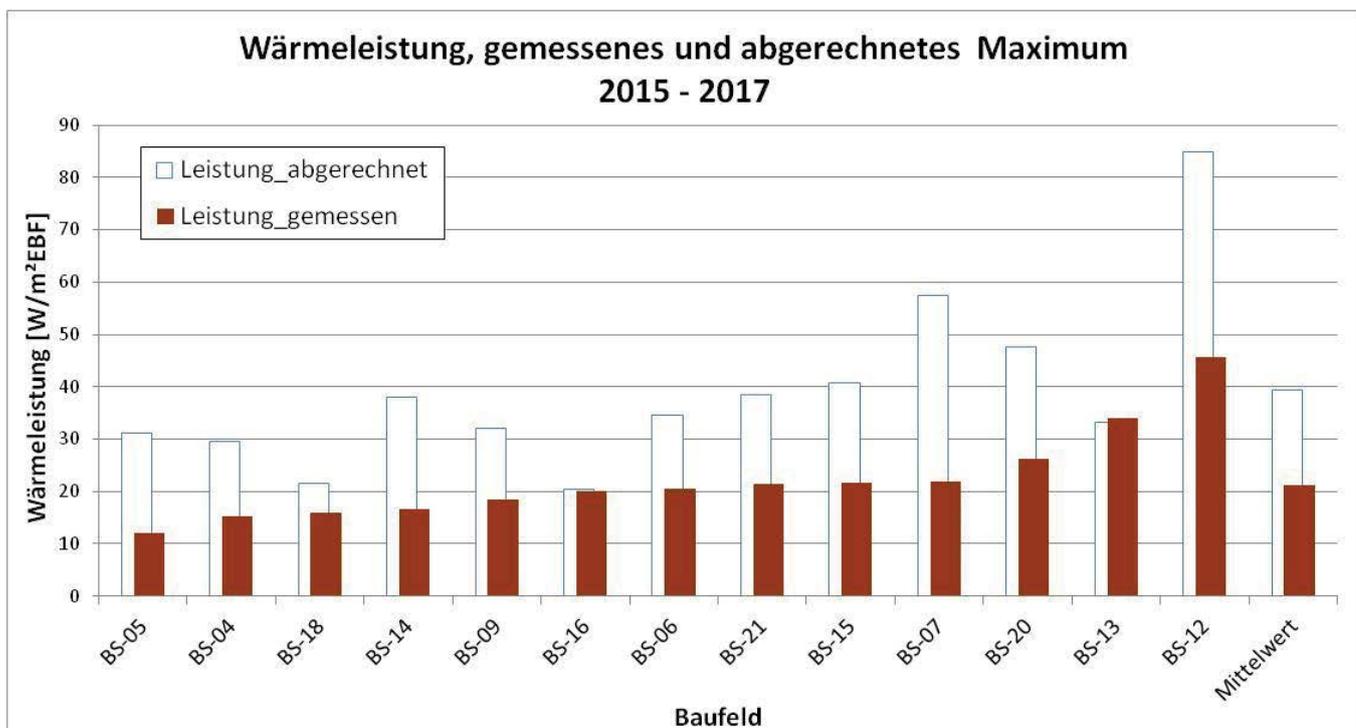


Abbildung 6: Leistungsbezug

Beispiel

In einem Baufeld wurde exemplarisch untersucht, welcher Leistungsanteil auf das Warmwasser einerseits und die Heizung andererseits entfällt. Dies ist interessant, weil beim Passivhausstandard für die Heizleistung ein Wert bei 10 W/m² erwartet wird. In Ermangelung besserer Daten werden die monatlichen Leistungsdaten über der Tagesmitteltemperatur aufgetragen, siehe Abbildung 7; die starke Streuung wird über Ausgleichsgeraden abgefangen.

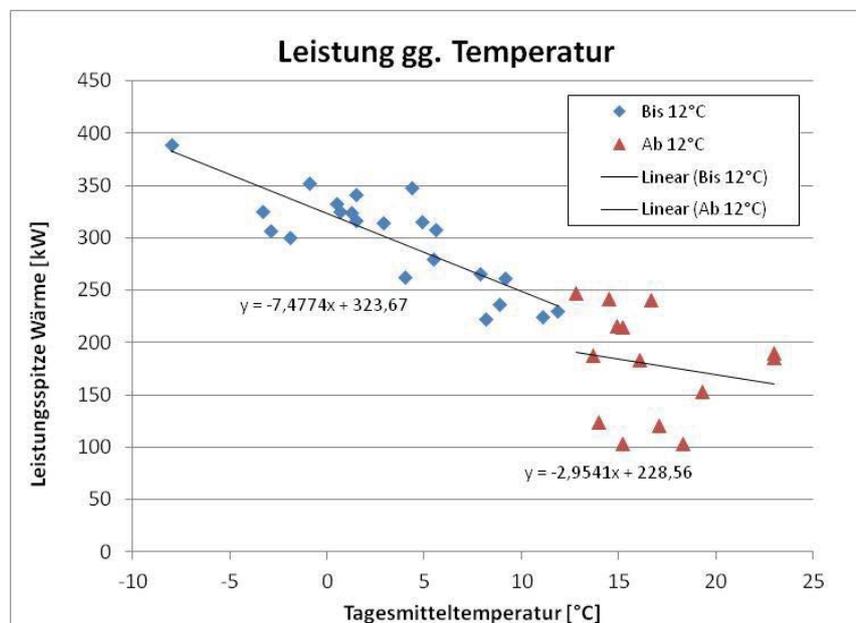


Abbildung 7: Analyse des Leistungsbezugs

An der Heizgrenze⁹ werden rund 200 kW bezogen, an den kältesten Tagen bis 400 kW. In diesem Beispiel entfällt die Leistung also rund hälftig auf Warmwasser und Heizung; die Heizleistung liegt dann mit 11,4 W/m² im erwarteten Bereich.

Andere Baufelder haben einen gemessenen Leistungsbedarf von insgesamt nur 12 W/m², was möglicherweise durch eine besonders wirksame Vorrangschaltung zu erklären ist.

An dieser Stelle ist ein Vergleich mit dem Wärmeversorgungskonzept möglich [ebök 2007], das folgende Ansätze enthält:

- Gesamtleistung 24 bis 28 W/m²
- davon Heizleistung 10 W/m² und Warmwasser-Leistung 14 bis 18 W/m²

Die Messwerte der Bahnstadt überschreiten – bis auf wenige Ausnahmen – diese Ansätze nicht.

Personenbezug

Beim Amt für Statistik liegen Personenzahlen für die Wohnbaufelder vor, wobei die neuesten Werte das Jahr 2017 betreffen (3.777 Bewohner zum Stichtag 31.12.2017). Der Bezug auf die Personenzahl könnte neben dem Flächenbezug weitere Aspekte zum Verständnis der Verbrauchswerte liefern.

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse für Gesamtwert, Sockel und Heizwärme, aufgetragen über die Wohnungsgröße (m²_{EBF}/Person). Die dargestellten Einheiten sind hier nicht Baufelder, sondern Baublöcke, welche z.T. mehrere Baufelder enthalten.

⁹ Der Heizbetrieb beginnt bei Passivhäusern in der Regel erst bei Außentemperaturen unter 12°C.

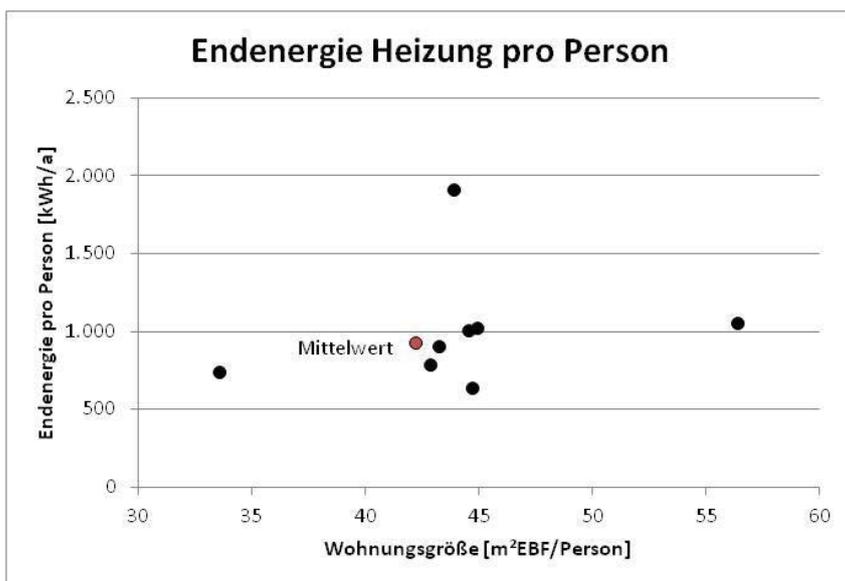
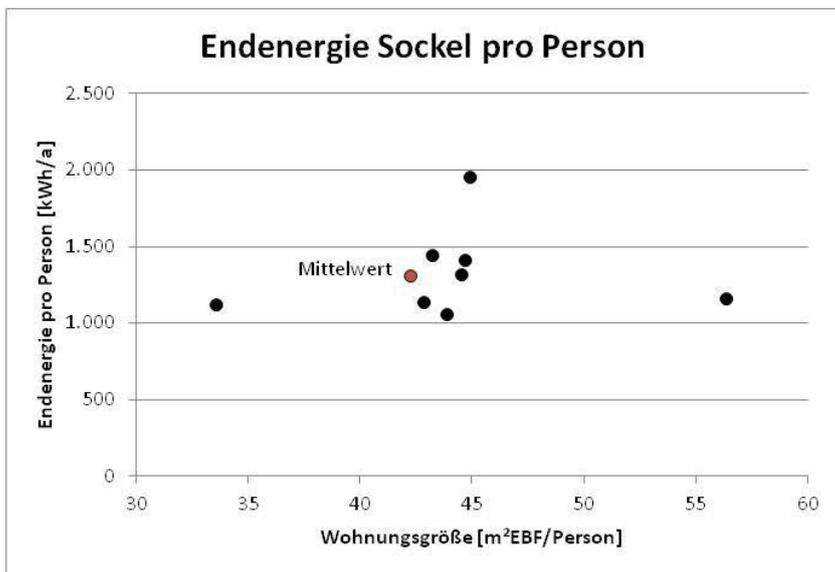
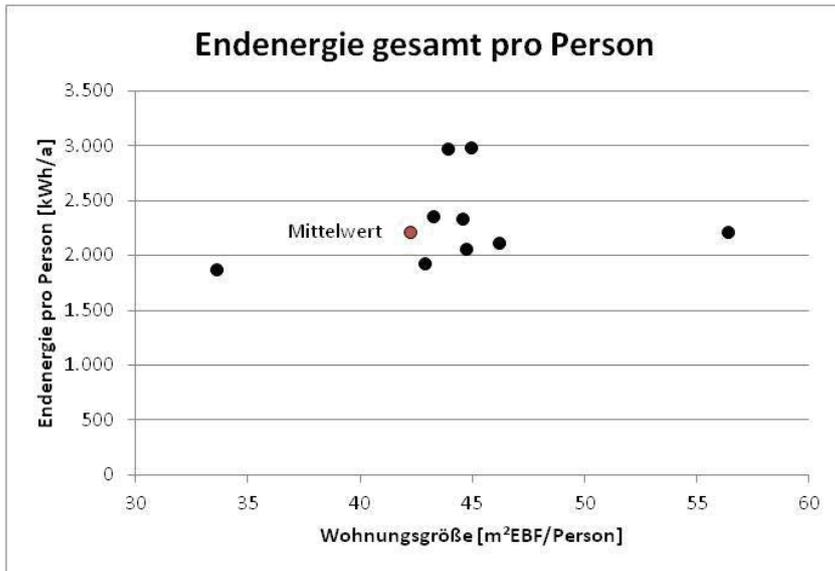


Abbildung 8: Wärme 2017 personenbezogen

Es zeigt sich in allen drei Fällen eine leichte Abhängigkeit von der Wohnungsgröße. Insbesondere ist der Pro-Kopf-Verbrauch bei eng belegten Gebäuden etwas niedriger und somit der Flächenbezug durchaus auch hier angemessen.

Weiterhin ist – wie schon beim Flächenbezug – eine breite Streuung sichtbar; z.B. liegen zwei Baublöcke systematisch besonders niedrig. Die Zusammenhänge könnten nur durch nähere Analysen vor Ort geklärt werden.

2.4 Vergleich mit anderen Datenquellen

Gesamtgebäude - Vergleich mit anderen Passivhäusern

Hier erfolgt ein Vergleich mit einer Auswertung des Büros ages (Münster) aus dem Jahre 2015 [ages 2015], in welcher der Gesamt-Wärmeverbrauch (d.h. für Heizung, Warmwasserbereitung und Verluste) von 139 Wohngebäuden mit Passivhausstandard ausgewertet wurde. In der Stichprobe waren immerhin 15 Mehrfamilienhäuser und drei Studentenwohnheime enthalten; der Bezug erfolgte auf Bruttogrundfläche (BGF).

Abbildung 9 basiert auf Grafik 22 der genannten Studie: Die schraffierten Säulen stellen die Mehrfamilienhäuser dar, die gefüllten Säulen die Studentenwohnheime. Die Häufigkeitsverteilung ist offensichtlich sehr breit bei einem Mittelwert von 21,6 kWh(H_i)/m²_{BGF}/a. Die entsprechenden Daten der Bahnstadt (Kategorie „EE“) sind als orangene Quadrate darübergelegt¹⁰.

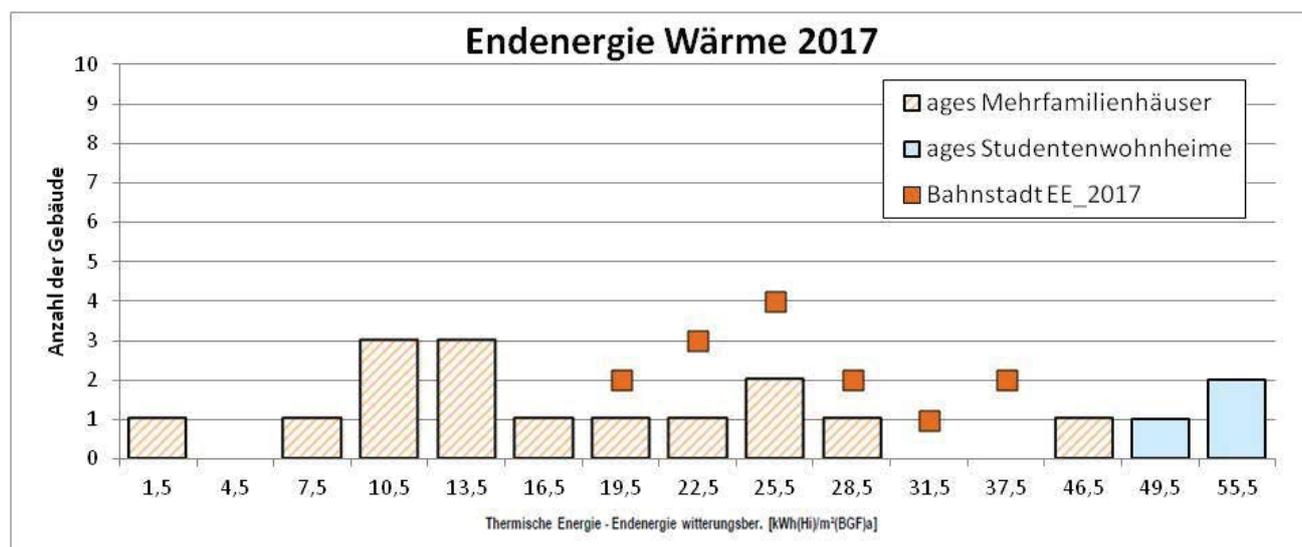


Abbildung 9: Wärmeverbrauch – Häufigkeitsverteilung (in Anlehnung an [ages 2015], Grafik 22)

Zur Verdeutlichung sind die Mittelwerte und Standardabweichungen¹¹ in Abbildung 10 nochmals dargestellt. Folgende Aussagen ergeben sich:

- Die Gebäude der Bahnstadt liegen mit einem Mittel von 24,9 kWh(H_i)/m²_{BGF}/a auf den ersten Blick leicht über den Vergleichswerten.
- Auf den zweiten Blick streuen die 18 Objekte der ages-Studie so stark, dass beide Auswertungen sich statistisch decken.

¹⁰ Zur Vergleichbarkeit erfolgt eine Flächenumrechnung mit dem Faktor für Mehrfamilienhäuser BGF/bWF = 2,139 ([ages 2015] Abschnitt 8.7; bWF = beheizte Wohnfläche ≈ EBF).

¹¹ Statistischer Fehler (korrigierte Stichprobenvarianz)

- Die Studentenwohnheime der Bahnstadt haben keine signifikant höheren Verbrauchswerte als die Mehrfamilienhäuser. Insbesondere kommen Kennwerte um die $50 \text{ kWh}(H_i)/\text{m}^2_{\text{BGF}}/\text{a}$ in der Bahnstadt nicht vor.

Zusammengenommen sind die Werte der Bahnstadt unauffällig.

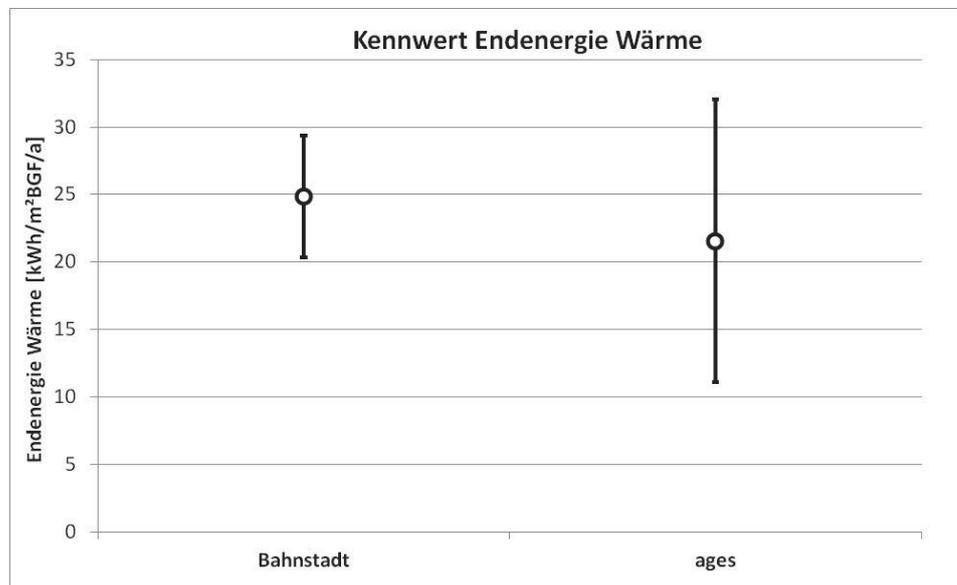


Abbildung 10: Kennwert Endenergie Wärme – Mittelwert und Standardabweichung

Gesamtgebäude – Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt

Die Heizkosten-Abrechnungsfirmen veröffentlichen regelmäßig Daten über den von ihnen betreuten Gebäudebestand.

Die folgende Abbildung 11 aus [Techem 2017] zeigt in grün die Häufigkeitsverteilung von 11.808 Mehrfamilienhäusern mit Fernwärme-Versorgung (Anlagen mit Warmwasser = „verbundene Anlagen“) für das Jahr 2016. Der nicht witterungsbereinigte¹² Mittelwert¹³ liegt bei $105 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$.

Für die Bahnstadt ist die Kategorie „Gesamt“ zum Vergleich heranzuziehen, siehe Abbildung 1, Seite 5. Hier liegt der Mittelwert¹⁴ bei $54,3 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$, also bei der Hälfte des Bundesdurchschnitts. Wie die Häufigkeitsverteilung der Techem zeigt, haben weniger als 10% der Objekte so gute Verbrauchswerte.

Die besten Baufelder der Bahnstadt zeigen, dass Kennwerte von $40 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ oder knapp darunter möglich sind (BS-19, BS-05); die Differenz kann evtl. durch eine kontinuierliche Überprüfung von technischen Anlagen und Einstellparametern (Reduktion des „Sockels“) erschlossen werden.

¹² Bereinigte Daten sind in der Quelle nicht genannt. Zitat Techem: „Bezüglich der Außentemperatur in der Heizperiode war 2016 ein mäßig warmes, fast durchschnittliches Jahr. So betrug der mittlere Klimafaktor (Referenz Potsdam) in Deutschland für 2016 rund 1,035.“

¹³ Der Wert liegt nicht relevant höher als die Auswertung für „Anlagen ohne Warmwasser“ Zitat Techem: „Die Differenz ist damit insbesondere bei Fernwärme geringer als erwartet. Die Ursache: Gebäude mit verbundenen Anlagen sind im Durchschnitt deutlich jünger, sind daher besser gedämmt und verfügen über eine modernere Anlagentechnik als jene, in denen das Wasser dezentral erwärmt wird.“ Somit gibt es keine Erhöhung des Kennwertes, obwohl „der Mittelwert des flächenbezogenen Energieverbrauchs für die Trinkwassererwärmung aller verbundenen Anlagen jährlich bei (...) $29 \text{ kWh} / \text{m}^2$ (Fernwärme) liegt“.

¹⁴ Bezugsjahr 2016. Der Kennwert bezieht sich auf die EBF, die leicht von der Wohnfläche abweicht; ein verlässlicher Wert der Wohnfläche liegt jedoch nicht vor (siehe Diskussion in Abschnitt 4.4, Seite 29).

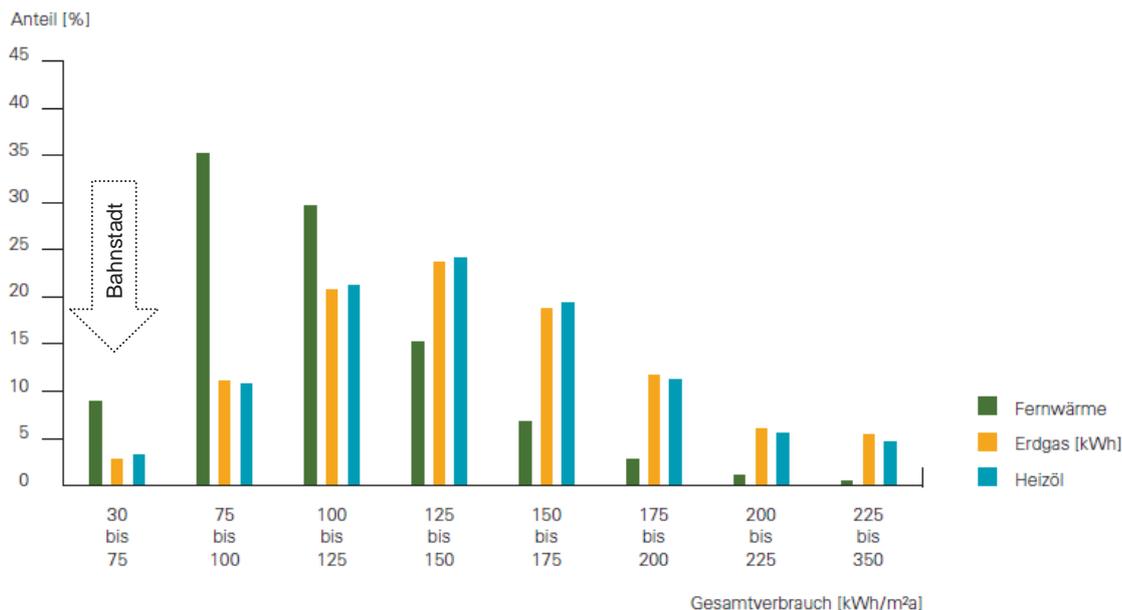


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung des spezifischen Gesamtverbrauchs in verbundenen Anlagen im Bundesdurchschnitt, Bezug auf Wohnfläche (aus [Techem 2017], nicht witterungsbereinigt)

2.5 Mittlerer Wärmepreis

Die Wärmekosten setzen sich aus Arbeitskosten und Leistungskosten zusammen. Durch Bezug beider Preisbestandteile auf die bezogene Wärmemenge kann ein mittlerer Wärmepreis errechnet werden. Die Ergebnisse für das Jahr 2017 sind in Abbildung 12 dargestellt¹⁵.

Die Ist-Werte liegen zwischen 8,4 und 15,2 Ct/kWh (brutto), wobei die höheren Werte in der Regel durch unnötig hohe Leistungskosten zustande kommen (siehe Abschnitt „Leistungsbezug“ auf Seite 10). Im Hintergrund sind die Werte angedeutet, die bei einer Anpassung der Vertragsleistung erzielbar wären; diese liegen im Durchschnitt¹⁶ bei 8,4 Ct/kWh.

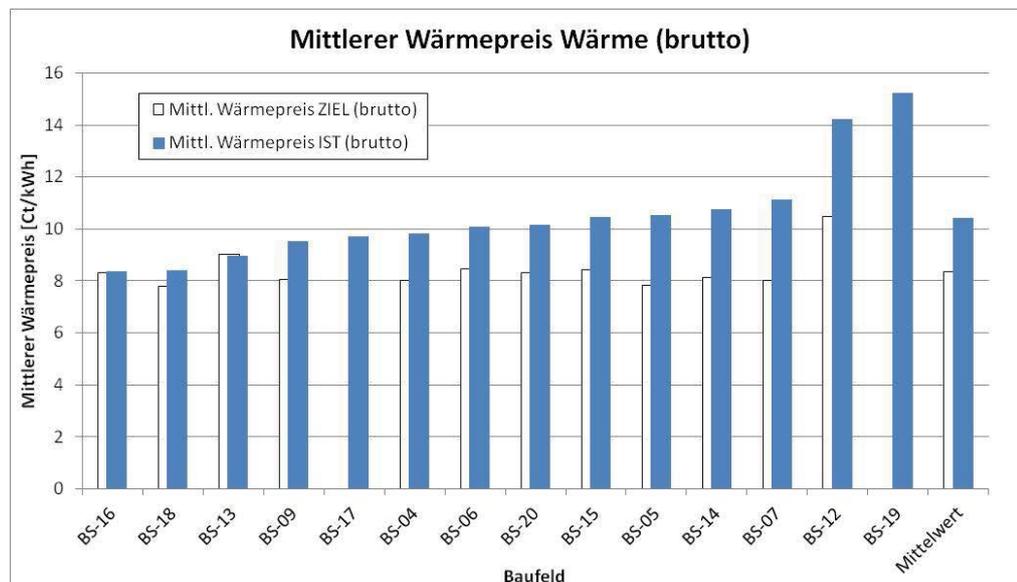


Abbildung 12: Mittlerer Wärmepreis, Bezugsjahr 2017

¹⁵ Zugrunde gelegt sind die Brutto-Preise des Vertrags „heidelberg WÄRME“ mit Arbeitspreis 6,104 Ct/kWh und Leistungspreis 58,13 €/kW/a.

¹⁶ sofern auswertbare Messdaten vorliegen

3 Strom

3.1 Energieverbrauch Strom

Die Erschließung der Bahnstadt erfolgt in Baufeldern, für deren Stromzähler meist Jahresdaten, teilweise auch Monatsdaten vorliegen.

Eine Auswertung erfolgt nur, soweit der Datenschutz gewährleistet werden kann. Die Verbrauchswerte werden möglichst in folgende Bereiche aufgetrennt:

- Allgemeinstrom („Allg“). Hier ist die Allgemeinbeleuchtung o.ä. inbegriffen, aber auch zentrale Dienste wie Druckerhöhungsanlage und zentrale Lüftungsanlage, sofern vorhanden.
- Tiefgarage („TG“). In der Mehrzahl der Fälle liegt hierfür ein eigener Zähler vor; manchmal ist der Anteil aber im Allgemeinstrom enthalten.
- Nutzer („Nutz“). Hier ist der Anteil gemeint, der allein auf die Wohnungen entfällt. Eine Auswertung ist nur möglich, wenn Daten zum Allgemeinstrom vorliegen. Zu beachten ist, dass dieser Posten auch den Lüfterstrom enthält, wenn dezentrale Lüftungsanlagen vorliegen.

Die Auftrennung ist in denjenigen Fällen nicht möglich, in denen die Daten nur über einen Hauptzähler erfasst werden.

Die Kennwerte werden mit der Energiebezugsfläche (EBF) ermittelt, die in Wohngebäuden im Wesentlichen aus der beheizten Wohnfläche besteht, jedoch auch die Allgemeinflächen (mit einem Abschlag von 40%) enthält. Diese Fläche ist typischerweise kleiner als die fiktive „Nutzfläche“ A_N nach EnEV, die aus dem Bruttovolumen ermittelt wird.

In einigen Baufeldern sind im Erdgeschoss verschiedene Einheiten des Einzelhandels und/oder der Gastronomie vorhanden. Diese Verbrauchswerte sind in den Daten jeweils enthalten

Aus verschiedenen Gründen waren nicht für alle Baufelder auswertbare Daten verfügbar:

- Teilbezug der Wohnungen. Es werden nur Baufelder berücksichtigt, in denen der Bezug bereits im Vorjahr begonnen hat.
- Datenlücken durch Ausfall der Zähler oder fehlende Ablesung

Die folgende Tabelle zeigt das Wachstum der Bahnstadt und die Anzahl der Wohnbaufelder, die im Bereich Strom auswertbar waren.

Jahr	2014	2015	2016	2017	
Baufelder	----	9	13	14	[Stück]
Energiebezugsfläche (EBF)	----	103.758	144.036	153.370	[m ²]
Wohneinheiten (WE)	----	1.381	2.164	2.268	[Stück]
Gewerbeeinheiten	----	19	23	31	[Stück]

Tabelle 3: Übersicht der Baufelder Strom

Strom gesamt

Die folgende Abbildung 13 stellt die gesamte Stromabnahme des Baufeldes dar, wobei die Tiefgaragen inbegriffen sind. Die Daten enthalten auch die Gewerbeeinheiten. Dargestellt sind 3 Jahre, nämlich 2015 bis 2017 („Geb“ = „Nutz“ + „Allg“)¹⁷.

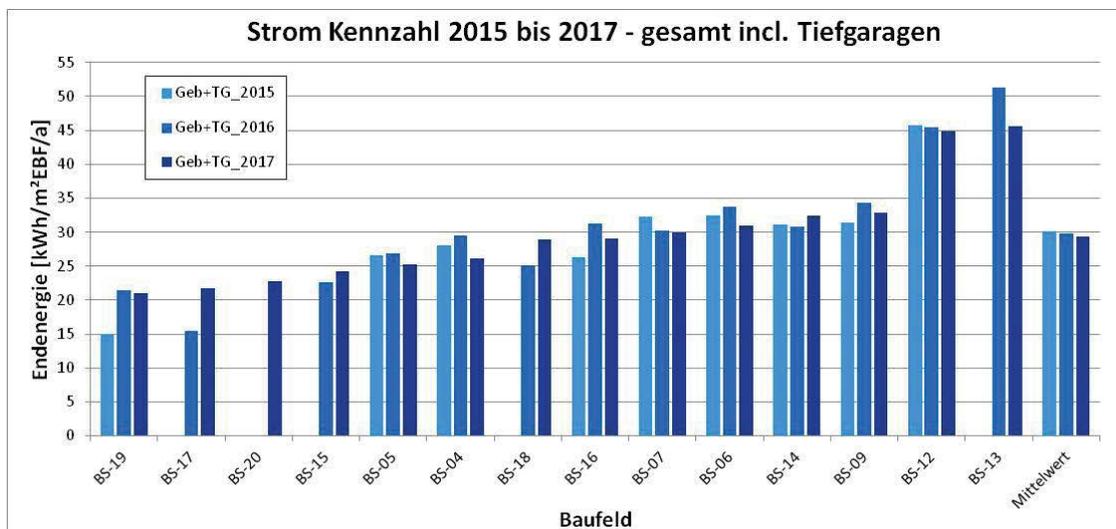


Abbildung 13: Strom gesamt incl. Tiefgaragen

Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2017. Es zeigt sich, dass die Werte eine große Spannweite zwischen 21 und 46 kWh/(m²a) aufweisen.

Die Kategorie ganz rechts zeigt den Mittelwert aller Baufelder; dieser ändert sich einerseits durch Nutzereinflüsse, andererseits jedoch auch durch Änderungen bei der Anzahl der Objekte. Trotz der grundlegenden Änderung der Stichprobe ist der Mittelwert annähernd konstant; er lag in 2017 bei einem Wert von 29,3 kWh/(m²a).

In Abbildung 14 ist der Anteil der Tiefgaragen abgezogen, soweit nutzbare Daten vorlagen. Diese Daten dienen zum Vergleich mit anderen Datenquellen, siehe Abschnitt 3.3.

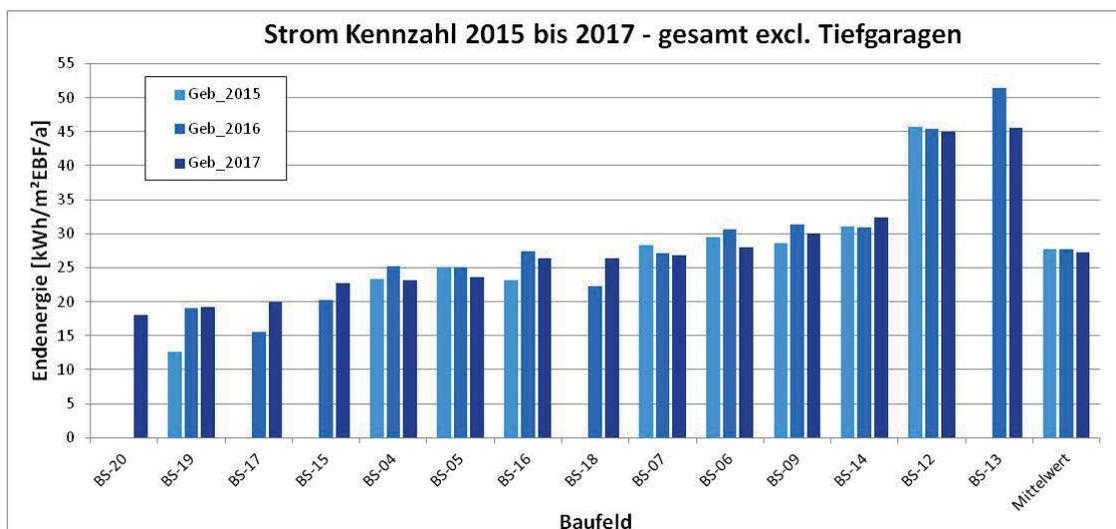


Abbildung 14: Strom gesamt excl. Tiefgaragen

¹⁷ Für das Jahr 2015 mussten die Daten z.T. rückwirkend korrigiert werden, so dass auch die Mittelwerte gegenüber [PHI 2016] leicht abweichen.

In Abbildung 15 sind die Daten aus Abbildung 13 in die Anteile „Nutz“, „Allg“ und „TG“ aufgetrennt, soweit nutzbare Daten vorlagen. Die Säule „Nutz“ enthält in dieser Grafik auch die Anteile „Allg“ und „TG“, sofern diese nicht abtrennbar sind.

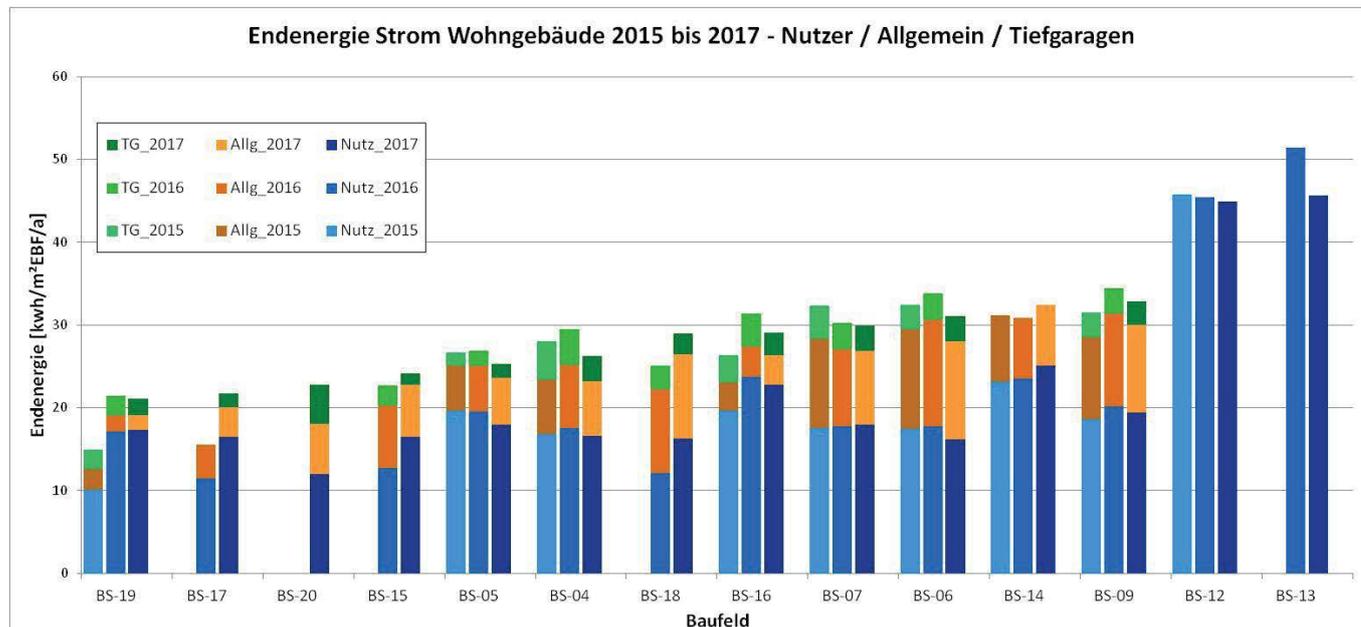


Abbildung 15: Strom gesamt - aufgetrennt

Nutzerstrom und Allgemeinstrom

Abbildung 16 zeigt die Anteile der Nutzer, sofern diese identifiziert werden können. Hier zeigt sich in vier Fällen, dass im ersten Jahr noch keine volle Belegung der Wohnungen gegeben war, obwohl das Baufeld bereits im Vorjahr an die Nutzer übergeben worden war. Die Streuung der Werte liegt zwischen 12,0 und 25,1 kWh/(m²a), was die unterschiedliche Intensität der Nutzung widerspiegelt (z.T. Studentenapartements, z.T. Gewerbe, ...). Es ergibt sich ein Mittelwert von 18,1 kWh/(m²a).

Für diese 12 Baufelder kann entsprechend auch der Mittelwert des Allgemeinstroms ermittelt werden (orangene Anteile in Abbildung 15). Er ergibt sich zu 7,1 kWh/(m²a) bei einer Streuung zwischen 1,9 und 11,8 kWh/(m²a) und macht im Schnitt einen Anteil von 28% des Gesamtwertes aus¹⁸.

Interessant ist der Einfluss Lüftungskonzepts (zentral / dezentral). Eine Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 17 gegeben, wobei die Baufelder entsprechend für jedes Jahr gemittelt sind (7 zentrale und 5 dezentrale Konzepte). Es zeigt sich, dass der Summenwert (Ges. = Allg. + Nutz) nicht signifikant vom Konzept abhängt, wohl jedoch die Aufteilung: Bei zentralen Anlagen liegt der Allgemeinstrom je nach Jahr um 1,7 bis 4,1 kWh/m²a höher.

Dies liegt im Bereich des erwarteten Lüfterstroms: Eine einfache Abschätzung¹⁹ führt auf rund 3 kWh/m²a. Direkte Messwerte für den Lüfterstrom liegen für zwei Baufelder aus Zählerdaten vor, sie sind aber mit anderen Nutzungsbereichen vermischt und nicht ohne Weiteres auswertbar.

¹⁸ In einem Fall ist auch die Tiefgarage mit unbekanntem Anteil enthalten, wobei der Wert aber dennoch durchschnittlich ist.

¹⁹ Für 1 m² EBF ergibt sich bei einer Raumhöhe von 2,5 m ein Luftvolumen von 2,5 m³. Weiterhin kann angesetzt werden: Luftwechsel im Mittel 0,3 h⁻¹, Elektroeffizienz 0,45 Wh/m³, Laufzeit 8.760 h/a. Damit ergibt sich die elektrische Jahresarbeit zu 2,5 x 0,3 x 0,45 x 8.760 kWh/m²a = 2,96 kWh/m²a

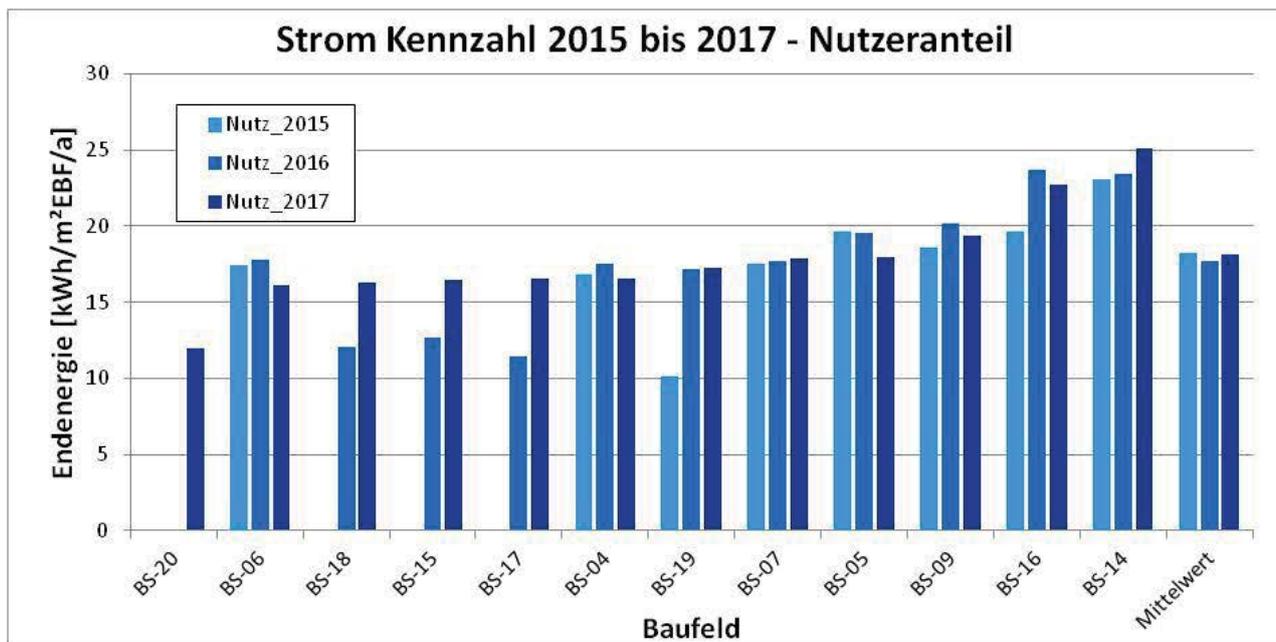


Abbildung 16: Strom Nutzer

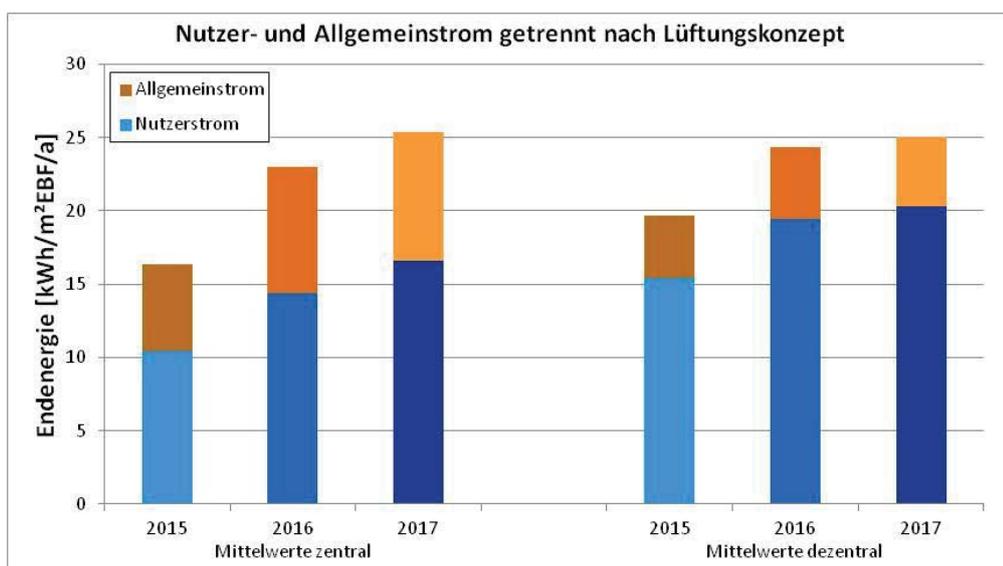


Abbildung 17: Mittelwerte der Baufelder mit zentralem / dezentralem Lüftungskonzept

Personenbezug

Analog zur Wärme (siehe Seite 11) kann auch hier eine Auswertung auf die Personenzahl (Bewohner zum 31.12.2017) erfolgen. Dabei wird wiederum unterschieden zwischen der Gesamtmenge (excl. Tiefgarage und Außenanlagen, incl. Gewerbe), Allgestrom und Nutzerstrom.

Die Ergebnisse zeigen die Grafiken in Abbildung 18. Es zeigt sich, dass der Gesamtwert mit recht geringer Streuung bei 1.144 kWh/Person/a liegt. Nach Abzug des Allgestroms ergibt sich der Nutzerstrom zu rund 775 kWh/Person/a²⁰. Dabei haben Bewohner von großen Wohnungen tendenziell einen etwas höheren Verbrauch.

²⁰ Für einzelne Baublöcke ist diese Auswertung nicht möglich, da Daten zum Allgestrom fehlen.

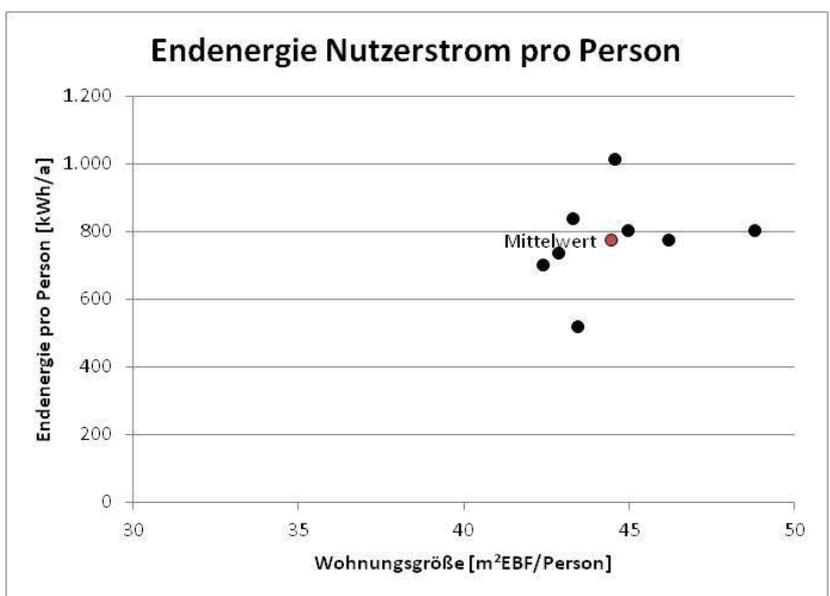
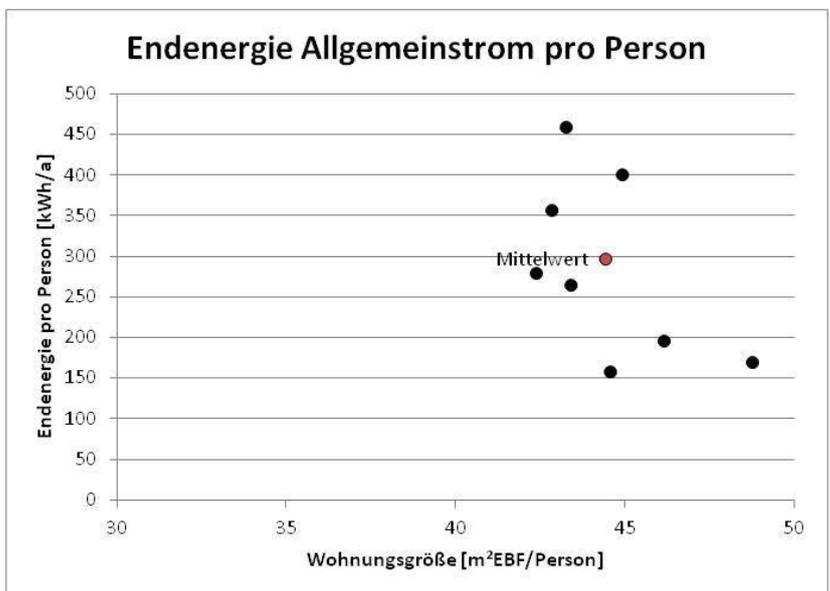
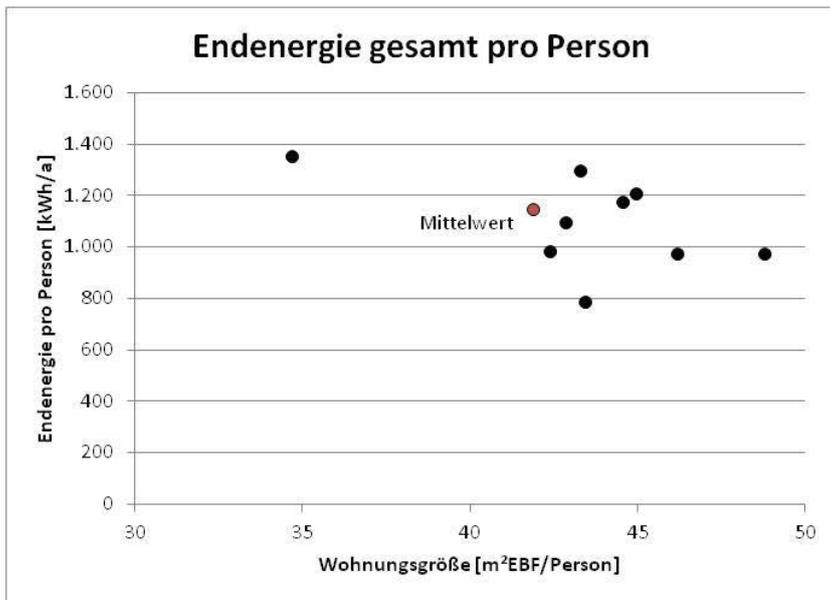


Abbildung 18: Strom 2017 personenbezogen

Tiefgaragen

Für 11 Baufelder ist der Stromverbrauch der Tiefgarage bekannt; er wird auch hier auf die EBF bezogen. Abbildung 19 zeigt den Verlauf und den Mittelwert, der zuletzt zwischen 1,4 und 4,7 kWh/(m²a) und bei einem Mittelwert von 2,6 kWh/(m²a) lag. Bemerkenswert ist, dass der Wert in 2017 in allen Baufeldern – z.T. deutlich – gesunken ist; die Gründe dafür sind in den meisten Fällen unbekannt²¹.

Auch hier ist die Stadt Heidelberg an einer weiteren Interpretation der Daten interessiert. Die Erhebung der technischen Ausrüstung ist bereits erfolgt; bei Interesse der Eigentümer wird die Stadt ein genaueres Monitoring anbieten.

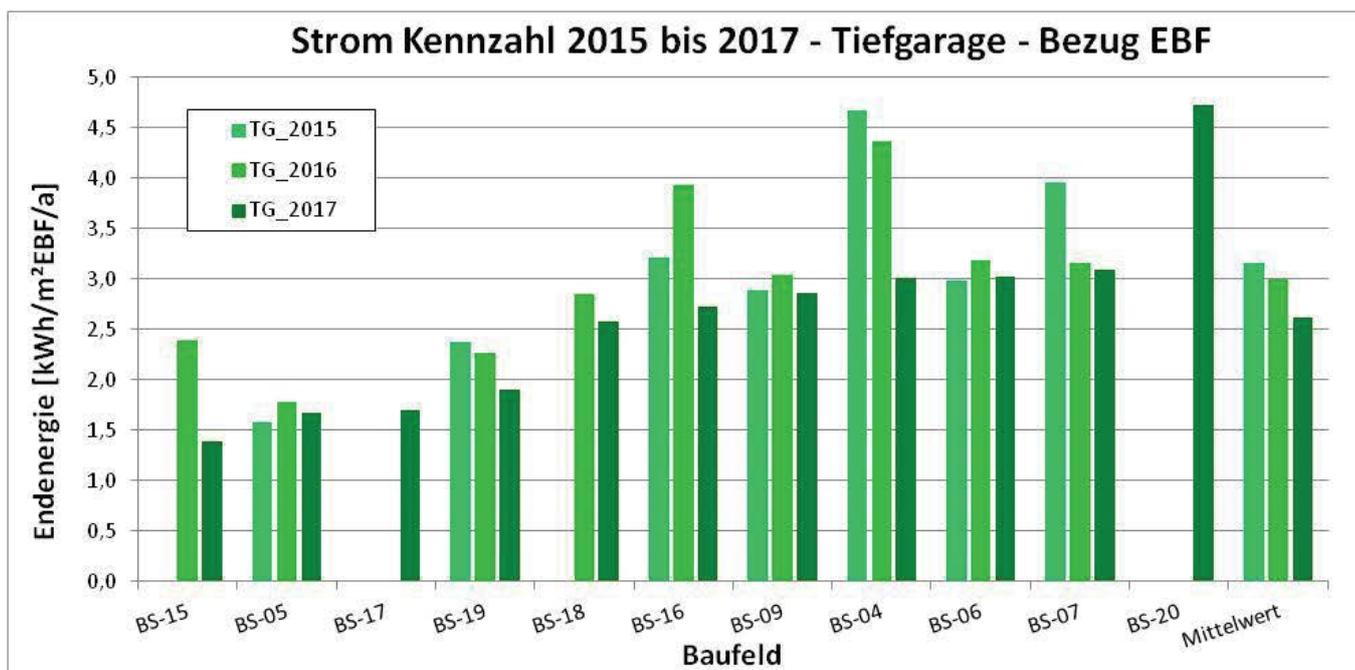


Abbildung 19: Strom Tiefgarage, Bezug EBF

Bezug auf Stellplätze

Abbildung 20 zeigt die gleichen Verbrauchsdaten mit Bezug auf Stellplätze [Heidelberg 2018]. Auch hier ist die Bandbreite mit 141 bis 367 kWh/Stellplatz/a recht hoch bei einem Mittelwert von 245 kWh/Stellplatz/a im Jahr 2017.

Interessant ist, dass die Reihenfolge der Baufelder sich z.T. geändert hat; zum Beispiel ist BS-18 in Bezug auf die EBF (Abbildung 19) unauffällig, in Bezug auf die Anzahl der Stellplätze jedoch unter den „Spitzenreitern“. Die „guten“ Baufelder (BS-05, BS-15, BS-17) sind dies jedoch in beiden Betrachtungen.

²¹ Für ein Baufeld ist bekannt, dass die Leuchtstoff- gegen LED-Lampen ausgetauscht und die Schaltzeiten optimiert wurden.

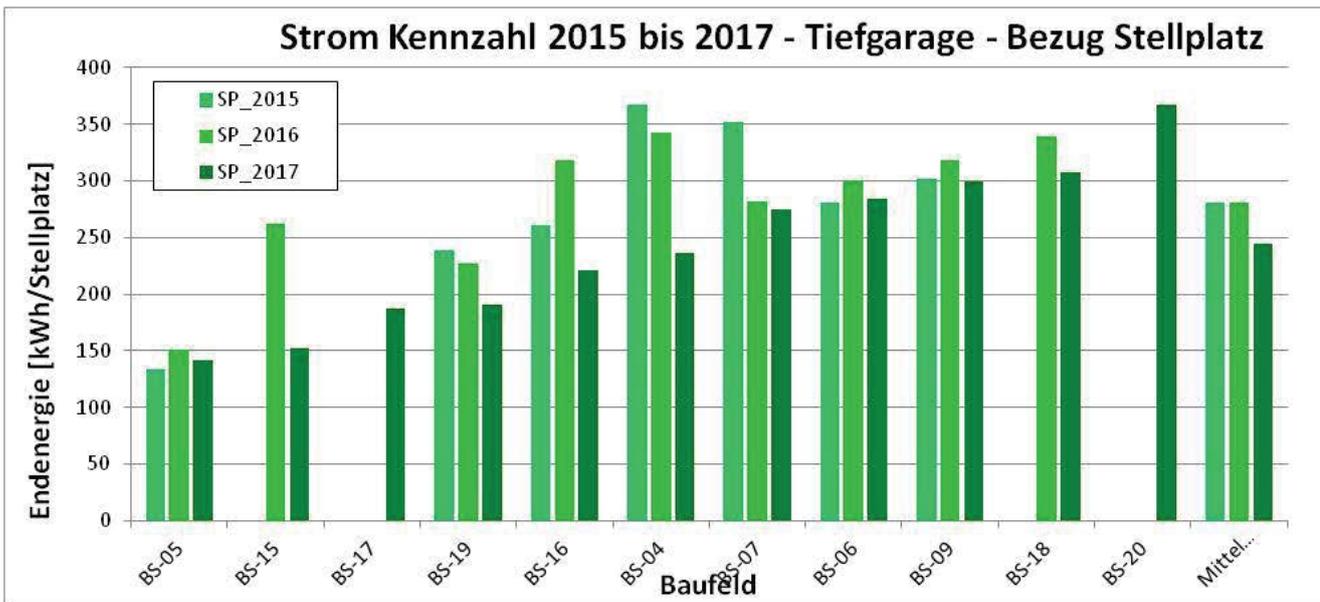


Abbildung 20: Strom Tiefgarage, Bezug Stellplatz

3.2 Jahresverlauf Strom

Beginnend mit dem Jahr 2017 sind nurmehr Jahreswerte erhältlich, für 2016 liegen für 8 Baufelder aber noch Monatswerte vor. Abbildung 21 zeigt den durchschnittlichen Tageswert pro Quadratmeter EBF.

Der Verlauf entspricht qualitativ und quantitativ der Auswertung für 2015 in [PHI 2016]. Als Gründe für den höheren Winterverbrauch wurden damals die kürzere Tageslichtzeit und der längere Aufenthalt in den Wohnungen angeführt.

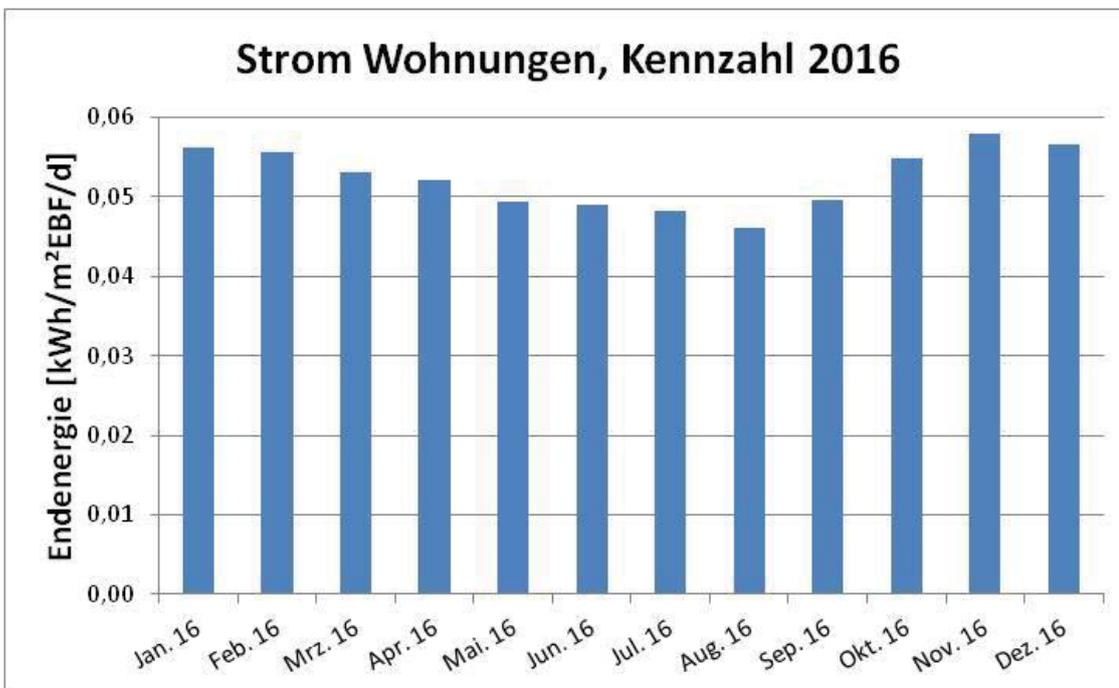


Abbildung 21: Jahresverlauf Strom

3.3 Vergleich mit anderen Datenquellen

Gesamtgebäude - Vergleich mit anderen Passivhäusern

Es sind nur wenig belastbare Untersuchungen zum Stromverbrauch von Wohngebäuden im energiesparenden Neubau verfügbar.

Hier erfolgt ein Vergleich mit einer Studie des Büros ages (Münster) aus dem Jahre 2015 [ages 2015], in welcher der Gesamt-Stromverbrauch von 140 Wohngebäuden mit Passivhausstandard ausgewertet wurde. In der Stichprobe waren immerhin 16 Mehrfamilienhäuser und ein Studentenwohnheim enthalten; der Bezug erfolgte auf die Bruttogrundfläche (BGF).

Abbildung 22 basiert auf Grafik 20 der genannten Studie [ages 2015],. Für die 17 bewerteten Objekte ist die Häufigkeitsverteilung offensichtlich sehr breit bei einem Mittelwert von $12 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF/a}}$. Die entsprechenden Daten der Bahnstadt (Kategorie „Geb“ = „Nutz“ + „Allg“, Abbildung 14, Seite 17) sind als orangefarbene Quadrate darübergelegt²².

Zur Verdeutlichung sind die Mittelwerte und Standardabweichungen²³ in Abbildung 23 nochmals dargestellt. Die Werte der Bahnstadt sind bei einem Mittel von $12,9 \text{ kWh(H)}/\text{m}^2_{\text{BGF/a}}$ – im Rahmen der Genauigkeit – auf dem gleichen Niveau wie die Vergleichsdaten, obwohl hier auch 31 Gewerbeeinheiten inbegriffen sind.

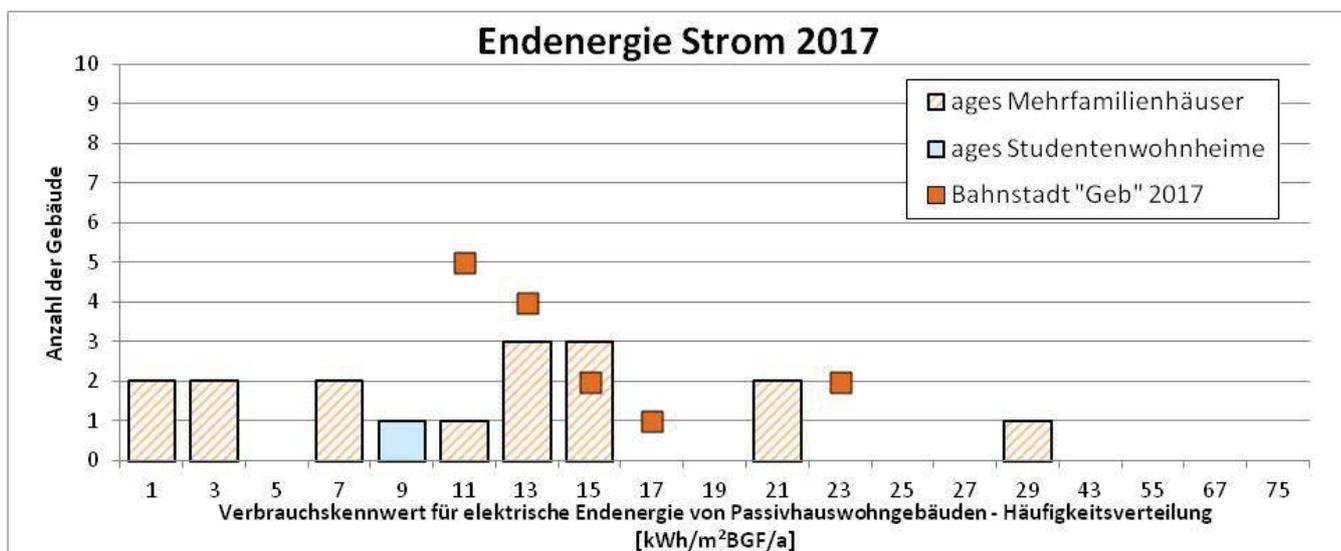


Abbildung 22: Stromverbrauch – Häufigkeitsverteilung (in Anlehnung an [ages 2015], Grafik 20)

²² Zur Vergleichbarkeit erfolgt eine Flächenumrechnung. Der Faktor zwischen bWF und BGF ist in der Quelle mit 2,139 angegeben ([ages 2015] Abschnitt 8.7, bWF = beheizte Wohnfläche \approx EBF).

²³ Statistischer Fehler (korrigierte Stichprobenvarianz)

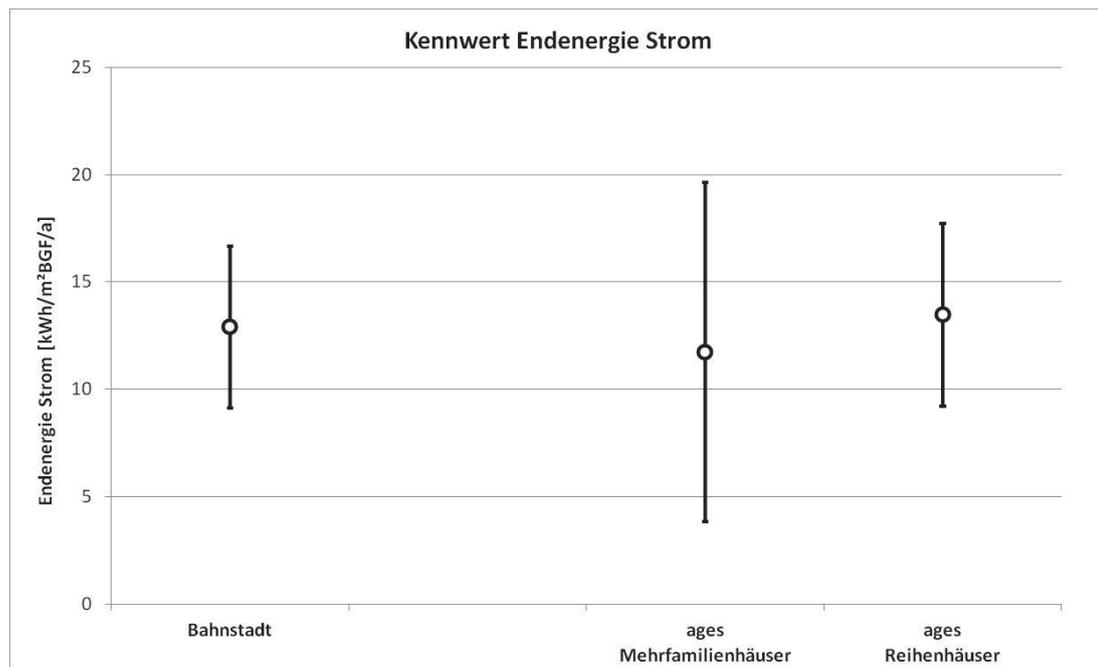


Abbildung 23: Kennwert Endenergie Strom – Mittelwert und Standardabweichung

Wohnungen - Vergleich mit bundesweiten Statistiken

In Zusammenarbeit zwischen Umweltbundesamt und den Verbänden der Stromwirtschaft werden regelmäßig Statistiken veröffentlicht, zuletzt im Jahr 2017 [co2online 2017]. Hier wird der Haushaltsstromverbrauch pro Wohnung dargestellt, wobei nach Wohnungsgrößen (Personenzahl) unterschieden wird.

Für eine Vergleichbarkeit werden die Verbrauchswerte über typische Wohnflächen (WF) aus [Destatis 2013] auf Kennwerte umgerechnet²⁴. Für Wohnungen ohne elektrische Warmwasserbereitung ergibt sich die Spanne der Vergleichskennwerte wie folgt:

Vergleichskennwerte Strom	Kennwert niedrig [kWh/m²WF/a]	Kennwert hoch [kWh/m²WF/a]
1 Person	14	44
2 Personen	17	47
3 Personen	20	52
4 Personen	20	53
5 und mehr Personen	20	58

Tabelle 4: Übersicht der Vergleichskennwerte Strom

In der Systematik der Bahnstadt wird die Kategorie „Nutz“ zur Bewertung herangezogen. Ergebnis: Der oben diskutierte Mittelwert liegt bei 18,1 kWh/m²EBF/a (Abbildung 16) und ist damit als ausgesprochen niedrig zu bewerten.

Sogar die Kennwerte von ca. 25 kWh/m²EBF/a für die Baufelder BS 14 und BS 16 sind noch unterdurchschnittlich; dabei sind in beiden Fällen sogar dezentrale Lüftungsanlagen inbegriffen.

²⁴ Die Wohnflächen für die Bahnstadt liegen nicht vor; hier wird die EBF als annähernd gleichwertig betrachtet.

Es sei darauf hingewiesen, dass auch der Mittelwert in der Kategorie „Gesamt“ von 27,2 kWh/m²EBF/a in diesem Zusammenhang noch unauffällig ist. Anders formuliert ist der Zuschlag für den Allgemeinstrom trotz des Lüfterstroms noch in der normalen Bandbreite.

Strom pro Person - Vergleich mit bundesweiten Statistiken

Für 9 Baublöcke sind Einwohnerzahlen bekannt, siehe Seite 19. Es ergab sich in der Kategorie „Nutz“ ein Kennwert von rund 775 kWh/Person/a. Auch dieser Wert kann mit der genannten Statistik verglichen werden (Tabelle 5); er liegt je nach Wohnungsgröße in der Kategorie A bis D und damit nicht höher als der Durchschnitt.

Belegung / Kategorie	A	B	C	D	E	F	G
1 Person	800	1.000	1.200	1.500	1.800	2.200	2.533
2 Personen	650	800	1.000	1.100	1.300	1.550	1.767
3 Personen	567	667	800	933	1.067	1.300	1.467
4 Personen	475	600	700	800	925	1.125	1.275

Tabelle 5: Übersicht der Vergleichskennwerte Strom in kWh/Person/a. Die Klassen A bis G bilden jeweils 14,3 Prozent der Haushalte ab (von gut nach schlecht)

Es sei darauf hingewiesen, dass auch der Mittelwert in der Kategorie „Gesamt“ von 1.144 kWh/Person/a in diesem Zusammenhang nicht auffällig hoch ist. Anders formuliert ist der Zuschlag für den Allgemeinstrom trotz des Lüfterstroms noch in der normalen Bandbreite.

4 Gesamtbilanz

4.1 Entwicklungsstand und Vergleich mit Planungswerten

Die Bahnstadt wurde von Anfang an als CO₂-neutraler Stadtteil entwickelt. Neben der durchgehenden Passivhaus-Bauweise ist die Errichtung des Holzheizkraftwerkes im Pfaffengrund zur Versorgung mit Wärme und Strom der zweite wichtige Baustein.

Die Rahmendaten des Heizkraftwerkes sind²⁵:

- Leistung: 3 Megawatt elektrisch und 10,5 Megawatt thermisch.
- Erzeugung: 24.000 Megawattstunden Strom und rund 80.000 Megawattstunden Wärme.
- Brennstoff: Pro Jahr werden 60.000 Tonnen Holzmaterial angeliefert (90 Prozent Grünschnitt und Landschaftspflegematerial aus der Region).
- Bilanziell soll das Holz-Heizkraftwerk den gesamten Energiebedarf von Heidelberg-Bahnstadt decken.

Die Daten in Tabelle 6 geben Auskunft darüber, wie sich die aktuelle Entwicklung zu den Planungsdaten verhält. Dabei sind auch weitere Rahmendaten aus der Stadtplanung genannt²⁶.

Außer den 14 Wohnbaufeldern dieses Berichtes sind in diesem Abschnitt auch Informationen über 7 Nichtwohnbaufelder enthalten.

	EBF	BGF ²⁷	EE_Wärme	Lstg_Wärme ²⁸	EE_Strom ²⁹	Bewohner	Wohneinheiten
	m ²	m ²	MWh	kW	MWh	Stck.	Stck.
Stand 2017							
Summe erfasste Objekte	208.700	393.901	10.802	4.501	8.018	-----	-----
davon Wohnbau	153.370	328.059	8.158	3.103	4.498	3.777	2.268
Planungswert		1.250.872	80.000	10.500	24.000	6.800	3.700
Quelle		Stadt HD	Stadt HD	Stadt HD	Stadt HD	Stadt HD	Stadt HD
Anteil 2017 am Planungswert							
erfasste Objekte		31%	14%	43%	33%	-----	-----
nur Wohnbau		26%	10%	30%	19%	56%	61%

Tabelle 6: Übersicht der Rahmendaten 2017 im Vergleich zum Planungswert

Aus den Zeilen „Anteil 2017 am Planungswert“ ergibt sich:

- Gemessen an der BGF ist aktuell etwa ein Drittel der Bahnstadt fertiggestellt.
- Gemessen an der Bewohnerzahl ist die Wohnbebauung bereits zu 56% fertiggestellt.
- Das Heizkraftwerk ist bilanziell in der Tat gut an die Bahnstadt angepasst, was sich vor allem beim Strom (EE_Strom) zeigt. Im Bereich Wärme (EE_Wärme) werden in der Jahresbilanz absehbar sogar Überschüsse entstehen, die im sonstigen Stadtgebiet nutzbar sind.

²⁵ Auslegungswerte lt. <https://www.swhd.de/de/SWH/Unternehmen/Energiekonzeption/Energie-nachhaltig-erzeugen/Holz-Heizkraftwerk/FAQ/> (30.08.2018). Reale Erzeugung in 2017 lt. SWH: 17 MWh Strom und 71 MWh Wärme.

²⁶ <https://www.heidelberg-bahnstadt.de/,Lde/968135.html> (30.08.2018) und [Heidelberg 2007]

²⁷ Für 2017 überschlägig aus der EBF ermittelt. Flächenumrechnung Wohnbau: Siehe Fußnote 10.

Flächenumrechnung Nichtwohngebäude: Faktor für „Verwaltungsgebäude, höhere technische Ausstattung“ BGF/NGF = 1,19 ([ages 2015] Abschnitt 8.7).

²⁸ Höchste gemessene Wärmeleistung der Jahre 2015-2017, einfache Summe der Baufelder

²⁹ Gesamtwert des Baufeldes, d.h. inklusive Tiefgaragen

4.2 Primärenergie (PE)

Nach den Richtlinien der Passivhausbauweise sind zwei wesentliche Zielwerte einzuhalten:

- Heizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Primärenergiebedarf $\leq 95 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Die Nachweise erfolgen durch die Fachplaner auf der Basis von Bedarfsberechnungen. Die interessante Frage ist, ob sich die Zielwerte auch auf der Ebene der Verbrauchswerte einhalten lassen.

Der erste Zielwert „Heizwärmebedarf“ wird in Abschnitt „Heizwärme“ in Kapitel 2.3 näher betrachtet. Hier zeigt sich eine leichte Erhöhung, die im Wesentlichen auf den „Rebound-Effekt“ zurückgeht (höhere Raumtemperaturen im Winter).

Der zweite Zielwert „Primärenergiebedarf“ wird in Tabelle 7 näher betrachtet. Die Bewertung der Energieträger erfolgt mit folgenden Ansätzen:

- PE-Faktor Fernwärme Heidelberg: 0,5 (Quelle: Stadtwerke Heidelberg 2016)
- PE-Faktor Strommix Deutschland: 1,8 (Quelle: EnEV 2016)

Stand 2017	PE_Wärme	PE_Strom ³⁰	PE_Summe	PE_Kennwert
	MWh	MWh	MWh	kWh/(m ² a)
Summe erfasste Objekte	5.401	13.851	19.252	98
davon Wohnbau	4.079	7.514	11.593	76
davon Nichtwohngebäude	1.322	6.337	7.659	182

Tabelle 7: „Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)“, Übersicht der Absolutwerte und Kennwerte (Bezug EBF)

Die Ergebnisse in Schlaglichtern:

- Der Sektor Strom dominiert die Bilanz, auch für den Wohnbau.
- Der PE-Kennwert liegt für den Wohnbau mit 76 kWh/(m²a) deutlich unter dem Zielwert. Dieses Ergebnis ist als hervorragend zu bewerten.
- Die Nichtwohngebäude haben deutlich höhere Kennwerte von 182 kWh/(m²a). Das ist nicht überraschend, denn außer dem Strom der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) sind auch die vielfältigen speziellen Nutzungen im Gebäude erfasst, die für das Passivhaus eigentlich gar nicht zu bilanzieren wären. Um diese Problematik im Vorfeld zu entschärfen, hat die Stadt Heidelberg umfangreiche Stromsparkonzepte herausgegeben³¹.
- Der PE-Gesamtwert aller erfassten Objekte liegt – incl. der o.g. speziellen Nutzungen – mit 98 kWh/(m²a) nur knapp über dem Zielwert von 95 kWh/(m²a). Damit hat das Energiekonzept der Bahnstadt die Erwartungen auch in der Praxis erfüllt.

³⁰ Ohne Tiefgaragen, soweit abtrennbar.

³¹ Siehe <https://www.heidelberg-bahnstadt.de/Lde/968149.html>

4.3 Klimaschutz (CO₂-Äquivalente)

Mittels einer CO₂-Bilanz können die Verbrauchswerte auch bezüglich des Klimaschutzes bewertet werden. Dabei werden zwei Varianten zur Diskussion gestellt:

Bewertung mit Durchschnittsfaktoren für Heidelberg

Hier wird der Treibhauseffekt mit folgenden CO₂-Äquivalenten bewertet:

- CO₂äqu-Faktor Fernwärme Heidelberg: 0,167 kg/kWh (Quelle: Stadtwerke Heidelberg 2016)
- CO₂äqu-Faktor Strommix Deutschland: 0,565 kg/kWh (Quelle: KEA/GEMIS 2017)³²

Tabelle 8 stellt die Ergebnisse zusammen.

Stand 2017	CO ₂ äqu_Wärme	CO ₂ äqu_Strom ²⁹	CO ₂ äqu_Summe	CO ₂ äqu_Kennwert
	t/a	t/a	t/a	kg/(m ² a)
Summe erfasste Objekte	1.804	4.530	6.334	32
davon Wohnbau	1.362	2.541	3.904	25
davon Nichtwohngebäude	442	1.989	2.431	58

Tabelle 8: CO₂-Äquivalente, Übersicht der Absolutwerte und Kennwerte (Bezug EBF)

Im Sektor Wohnbau kann auch ein Bezug auf die Bewohnerzahl (siehe S. 11) erfolgen. Es ergibt sich ein Kennwert von 1,03 t/Pers./a.

Bewertung mit den Faktoren des Holz-Heizkraftwerkes

Wie in Abschnitt 4.1 erläutert ist das Holz-Heizkraftwerk perspektivisch in der Lage, den Stadtteil zu versorgen. Auf Basis der Betriebsdaten der Stadtwerke (Fußnote 25) lassen sich über die BSKO-Methode eigene Emissionsfaktoren bestimmen [BSKO 2018]:

- CO₂-Faktor Wärme: 0,017 kg/kWh
- CO₂-Faktor Strom: 0,080 kg/kWh

Damit ergeben sich:

Stand 2017	CO ₂ Wärme	CO ₂ Strom ²⁹	CO ₂ Summe	CO ₂ Kennwert
	t/a	t/a	t/a	kg/(m ² a)
Summe erfasste Objekte	184	645	828	4
davon Wohnbau	139	362	500	3
davon Nichtwohngebäude	45	283	328	8

Tabelle 9: CO₂-Emissionen, Übersicht der Absolutwerte und Kennwerte (Bezug EBF)

Der personenbezogene Kennwert (Sektor Wohnbau) ergibt sich zu 0,13 t/Pers./a.

³² <https://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/> (30.08.2018)

Vergleichsdaten Wohnbau

Die ermittelten personenbezogene Kennwerte sind bei beiden Bilanzierungsmethoden vergleichsweise niedrig:

- für die Stadt Heidelberg wurde ein Wert von 2,0 t/Pers./a bestimmt (Bezugsjahr 2015, [ifeu 2017]),
- für den Rhein-Neckar-Kreis liegt der Durchschnittswert bei 2,79 t/Pers./a (Bezugsjahr 2015, [KliBA 2018]).

Somit ist die Bahnstadt zwar nicht völlig klimaneutral, durch die Passivhausbauweise und die Versorgung durch das Holz-Heizkraftwerk kann die Belastung aber auf einen Bruchteil des Durchschnittswertes gesenkt werden.

4.4 Abweichende Flächenbezüge

Die Energiebezugsfläche, die in Abschnitt 2.1 eingeführt wurde, ist nur im Passivhausbau üblich. Zum Vergleich mit anderen Baustandards sind andere Flächenbezüge erforderlich³³:

- Gebäudenutzfläche (A_N) nach EnEV Anlage 1.3.3. Diese fiktive Fläche ist nur für Wohngebäude definiert und wird aus dem Bruttovolumen V_e hergeleitet (in der Regel gilt $A_N = 0,32 \text{ m}^{-1} \cdot V_e$).
- Wohnfläche (WF) nach Wohnflächenverordnung (WoFIV 2003)
- Nutzfläche (NF) nach DIN 277
- Bruttogrundfläche (BGF) nach DIN 277

Leider ist die Datenbasis für diese alternativen Bezugsflächen meist schlecht:

- A_N : Dieser Bezug ist in der EnEV normativ für Wohngebäude, er spielt bei der Qualitätssicherung für die Bahnstadt aber keine Rolle. Die Energieausweise, aus denen der Wert hervorgehen müsste, waren der KliBA nicht zugänglich.
- WF: Nur beheizte Flächen (bWF) sind relevant, die WoFIV berücksichtigt aber auch Loggien und Balkone (mit Abschlüssen). Die vorliegenden Werte geben in der Regel nicht an, ob diese Anteile inbegriffen sind oder nicht.
- NF: Die mitgeteilten Flächen erscheinen zum Teil überhöht; eventuell wurden Verkehrs- und Funktionsflächen nicht durchgehend herausgerechnet.
- BGF: Nur beheizte Flächen (bBGF) sind relevant. Die vorliegenden Werte geben in der Regel nicht an, ob unbeheizte Anteile inbegriffen sind oder nicht. Weiterhin ist nicht sichergestellt, dass „konstruktiv verbundene“ Flächen (Balkone, Außentreppe) herausgerechnet sind. Die Verwendung in den Kapiteln 2.4 und 3.3 ist deshalb wenig belastbar.

Mit dem vorliegenden Datenbestand lassen sich die Kennwerte für die Endenergie der Wohngebäude wie folgt zusammenstellen:

	EBF	A_N	WF + NF	BGF
Wärme [kWh/(m ² a)]	53	39	50	25
Strom [kWh/(m ² a)]	28	20	26	13
Fläche Bahnstadt [m ²]	153.370	208.845	161.863	328.059
Datenqualität	sehr gut	gut	schlecht	schlecht

Tabelle 10: Kennwerte Endenergie Wohnbau, verschiedene Bezugsflächen. Zur Datenqualität siehe Text.

³³ Im Einklang mit den Planerangaben wird die Nomenklatur der (veralteten) DIN 277:2005 verwendet.

5 Fazit

Für den neuen Stadtteil „Bahnstadt“ liegen nunmehr über 4 Jahre Verbrauchsdaten vor. Die Stadt Heidelberg begleitet die durchgehend verpflichtende Passivhaus-Bauweise nicht nur mit einer Qualitätssicherung (siehe z.B. [Passivhaustagung 2013]), sondern auch mit der kontinuierlichen Auswertung der realisierten Verbrauchswerte (siehe z.B. [Passivhaustagung 2016]).

Das energieeffiziente Bauen hat in Teilen der Branche weiterhin gegen Vorurteile zu kämpfen:

- „Dämmung bringt nichts“, z.B. wegen des Rebound-Effektes;
- „Was man beim Heizen spart, kommt beim Lüfterstrom wieder obendrauf“;
- „Man kann die Rechnung nicht ohne die Nutzer machen“ [GWW 2016].

Hier hat die Bahnstadt schon im ersten Monitoring-Bericht [PHI 2015] ein anderes Bild gezeichnet. Für den vorliegenden Bericht liegen nun die Verbrauchswerte über vier Jahre vor; zur Auswertung kommen 14 Baufelder mit überwiegender Wohnnutzung, wobei auch Gewerbeflächen einbezogen sind (meist Ladengeschäfte im Erdgeschoss). Die Gebäude haben insgesamt 153.370 m² Wohn- bzw. Nutzfläche, 2.268 Wohneinheiten und 31 Gewerbeeinheiten.

Die Ergebnisse lassen sich in folgenden Schlaglichtern zusammenfassen³⁴:

- Die Bahnstadt wächst dynamisch, die Nachfrage ist ungebrochen. Die Passivhaus-Bauweise ist sowohl für die Planer als auch für die Käufer mehr Anreiz als Problem.
- Der Heizwärmeverbrauch liegt zuletzt im Mittel bei 19,9 kWh/(m²a). Gemessen am Zielwert von 15 kWh/m²/a deutet das tatsächlich auf einen leichten Rebound-Effekt hin (Raumtemperaturen ca. 21,5°C), der Wert ist aber absolut noch auf so niedrigem Niveau, dass die Erwartungen durchaus erfüllt sind. (Seite 7).
- Der gesamte Wärmeverbrauch liegt zuletzt im Mittel bei 53,7 kWh/(m²a). Das ist nur die Hälfte des Bundesdurchschnitts für Mehrfamilienhäuser mit Fernwärme-Versorgung (Seite 14). Die besten Baufelder der Bahnstadt zeigen, dass Kennwerte von 40 kWh/m²/a oder weniger möglich sind.
- Der Stromverbrauch liegt im Mittel der Wohnbaufelder bei 27,2 kWh/(m²a). Darin ist neben dem Haushaltsstrom auch der Allgemeinstrom enthalten, d.h. Allgemeinbeleuchtung, Aufzug und sogar alle Lüftungsanlagen³⁵. Dennoch liegt der Wert im Vergleich mit bundesweiten Statistiken innerhalb der normalen Bandbreite (Seite 25).
- Die Gesamtbewertung der Bahnstadt ist – obwohl die Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist – sehr positiv:
 - die Primärenergie-Bilanz entspricht den Vorgaben der Passivhaus-Bauweise (Seite 27) und
 - die CO₂-Emissionen liegen deutlich unter dem Heidelberger Durchschnittswert (Seite 28).

³⁴ Kennwerte jeweils mit Bezug auf das Jahr 2017 und die Energiebezugsfläche „EBF“

³⁵ Ohne Tiefgaragen, soweit abtrennbar.

Wo Licht ist, ist auch Schatten. Es ergeben sich Ansatzpunkte für weitere Analysen:

- Da innerhalb der Baufelder bereits eine Mittelung über viele Wohnungen stattfindet, ist die starke Streuung auf Ebene der Baufelder unerwartet (Wärme Seite 5, Strom Seite 17).
- Der Wärmesockel (Seite 8) ist teilweise unbefriedigend hoch und macht verfeinerte Messungen erforderlich. Insbesondere kann eine Verlustreduktion bei der Wärmeverteilung auch zur Bekämpfung der sommerlichen Überhitzung beitragen.
- Die Vertragsleistung der Fernwärme kann in den meisten Baufeldern besser an den Bedarf angepasst werden, wodurch die Betriebskosten deutlich sinken (Seite 10). Ggf. sind auch Investitionen in eine verbesserte Hydraulik sinnvoll.
- Eine kontinuierliche Überprüfung der technischen Anlagen und Einstellparameter erscheint notwendig. Die Stadt Heidelberg geht diesbezüglich aktiv auf die Eigentümer zu und unterstützt weitere Analysen.

Literatur

- [ages 2015] Energieverbrauchskennwerte energetisch hocheffizienter Gebäude, ages GmbH, Abschlussbericht, September 2015
- [BISKO 2018] „Berechnungshilfe Emissionsfaktoren Fernwärme und lokaler Strommix“, ifeu GmbH, Heidelberg 2018
- [co2online 2017] Stromspiegel 2017, co2online, Berlin 2017
- [ebök 2007] Baugebiet Bahnstadt in Heidelberg - Städtebauliches Energie- und Wärmeversorgungskonzept, ebök, Tübingen 2007
- [Destatis 2013] Fachreihe 15 Sonderheft 1
- [GWW 2016] GWW Modellversuch, zweiter Monitoring-Bericht, www.gww-wiesbaden.de
- [Heidelberg 2007] Städtebauliche Rahmenplanung „Bahnstadt 2007“, Begründung, Stadtplanungsamt
- [Heidelberg 2018] Zählung der realisierten Stellplätze vor Ort, Stadt Heidelberg, Stand Juni 2018
- [ifeu 2017] „CO₂-Bilanzierung 2012 bis 2015 sowie Evaluation des Masterplan 100 % Klimaschutz“, Endbericht, ifeu GmbH, Heidelberg 2017
- [IWU 2015] Deutsche Wohngebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, IWU Darmstadt 2015
- [KliBA 2018] Energie- und Treibhausgasbilanz 2010-2015 für den Rhein-Neckar-Kreis, KliBA gGmbH Heidelberg 2018
- [Passivhaustagung 2013] 17. Internationale Passivhaustagung 2013, Tagungsband
- [Passivhaustagung 2016] 20. Internationale Passivhaustagung 2016, Tagungsband
- [PHI 2015] Monitoring in der Passivhaus-Siedlung Bahnstadt Heidelberg, Zwischenbericht 2014, Passivhaus-Institut Dr. Wolfgang Feist, Juli 2015
- [PHI 2016] Energie-Monitoring von Wohngebäuden im Passivhaus-Stadtteil Heidelberg-Bahnstadt, Endbericht, Passivhaus-Institut Dr. Wolfgang Feist, Oktober 2016
- [Techem 2017] Energiekennwerte 2017, Techem-Studie, Eschborn