Energie-Monitoring der Jahre 2014 bis 2018

für die Wohngebäude im Passivhaus-Stadtteil Heidelberg-Bahnstadt

Erstellt durch:

KLiBA
KLIMASCHUTZ- & ENERGIEBERATUNG
HEIDELBERG · RHEIN-NECKAR-KREIS

Klimaschutz- und Energie-Beratungsagentur

Heidelberg – Rhein-Neckar-Kreis gGmbH

Wieblinger Weg 21

69123 Heidelberg

Bearbeitung: Dipl.-Phys. Walter Orlik

Heidelberg, im November 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort 2

2 Fernwärme 3

3 Strom 16

4 Gesamtbilanz 25

5 Fazit 30

Literatur 32

Luftbilder Titelblatt und Seite 2: Kay Sommer

1 Vorwort

In der Bahnstadt entsteht das bisher 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 wird entsprechend des Baufortschritts weitergeführt und erweitert. Im Oktober 2018 wurden die Daten für die Jahre 2014 bis 2017 vorgestellt [KliBA 2018], die im vorliegenden Bericht auf das Jahr 2018 fortgeschrieben werden.

Zur Auswertung kommen 14 Baufelder mit überwiegender Wohnnutzung, wobei auch Gewerbeflächen einbezogen sind (meist Ladengeschäfte im Erdgeschoss).[2] Die untersuchten 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.

Zur Auswertung wird das sog. „Minimal-Monitoring“ verwendet, das vom Passivhaus-Institut (PHI) vorgeschlagen wurde [PHI 2016]. Im Einzelnen werden erarbeitet:

- Jahresverbrauch für Strom und Wärme je Baufeld
- Ausweisung des Heizwärmeverbrauchs, Warmwasserverbrauchs und der Verluste nach der Methodik der o.g. PHI Studie. Für den Bereich Wärme werden deshalb Monatsdaten benötigt.
- Vergleich des realen Verbrauchs mit den Hauptkriterien der Passivhausbauweise
- Kennzahlenbildung bzgl. Energiebezugsfläche nach Passivhaus-Kriterien („EBF“), Gebäudenutzfläche nach EnEV („A_N“), Wohnfläche nach WoFlV („WF“) und Netto-Raumfläche nach DIN 277 („NRF“)
- Gesamtbewertung der Primärenergie und der CO_2-Emissionen.
- Tabellarische und grafische Auswertung

[2] Zwei weitere Baufelder waren Anfang 2018 fertiggestellt, sie wurden aber erst im Laufe des 1. HJ bezogen.

2 Fernwärme

2.1 Energieverbrauch Fernwärme

Die Erschließung der Bahnstadt erfolgt in Baufeldern, die jeweils einen oder maximal zwei Hauptwärmezähler 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 Allgemeinflächen[3] (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 den Vorjahren waren nicht alle 14 Baufelder auswertbar:

- 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**	**2018**	
Baufelder	7	9	12	13	14	[Stück]
Energiebezugsfläche (EBF)	80.903	101.170	133.444	142.778	153.370	[m²]
Wohneinheiten (WE)	1.325	1.545	2.047	2.151	2.268	[Stück]
Gewerbeeinheiten	13	19	23	31	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 Hauptwärmezähler enthalten schwer trennbare Anteile für folgende Nutzungen:

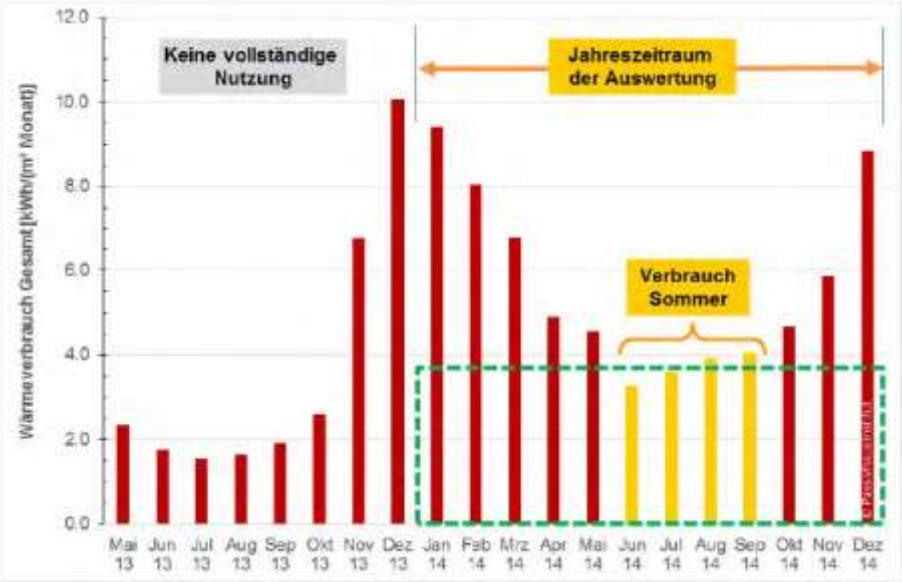
- Heizwärme
- Warmwasser-Bereitung
- Wärmeabgabe der Verteilleitungen (nutzbare und nicht nutzbare)
- Übergabeverluste der Fernwärmestation
- Speicherverluste der Warmwasserspeicher
- Sonstiges, wie z.B. Rampenheizung der Tiefgarageneinfahrt

[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:

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

Die verschiedenen Korrekturen ergeben zusammen einen Wert von 2,6 bis 3,1 kWh/(m²a), der in der zweiten Näherung ebenfalls abgezogen wird[4].

Eine Witterungsbereinigung 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 „Witterungsbereinigung“ 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 2018, soweit nutzbare Daten vorlagen (EE = Endenergie).

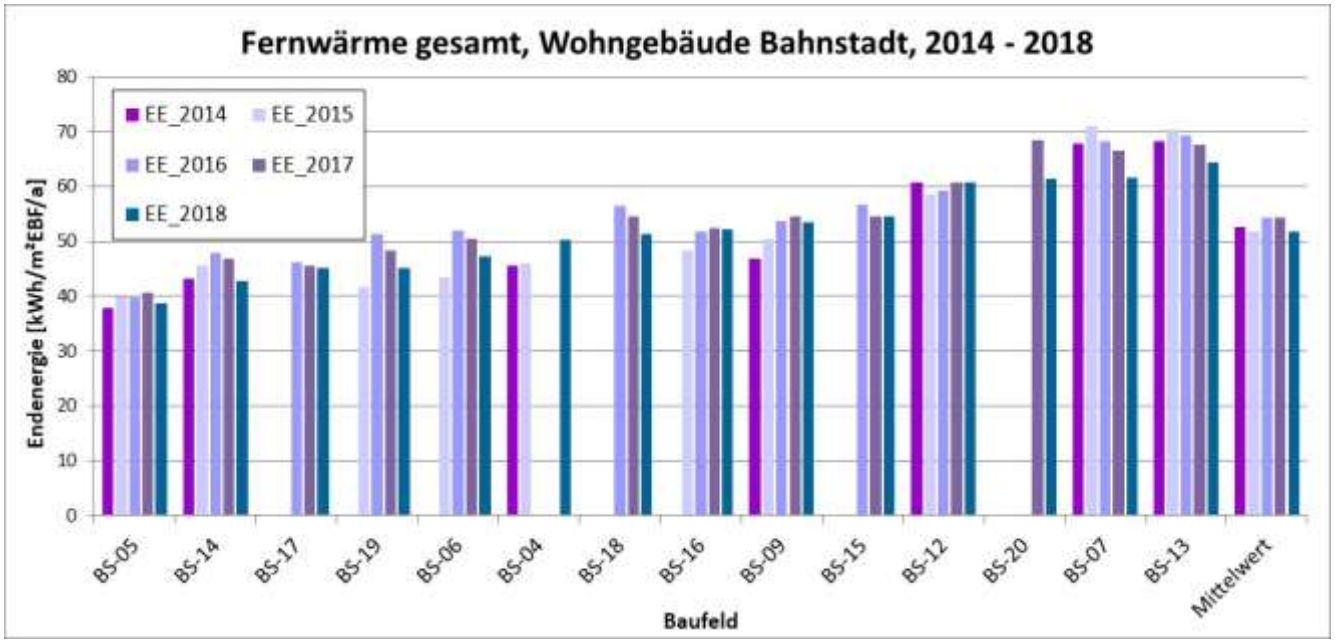


Abbildung 1: Fernwärme gesamt

Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2018. Es zeigt sich, dass die Werte eine große Spannbreite zwischen 38,7 und 64,4 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 2018 bei einem Wert von 51,7 kWh/(m²a).

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 2018. Der Sockel trägt in der Größenordnung 2/3 des Verbrauchs, was der Analyse [PHI 2016] entspricht. Dabei gibt es auffällige „Ausreißer“ mit niedrigen (52%) und hohen (74%) Sockelanteilen.

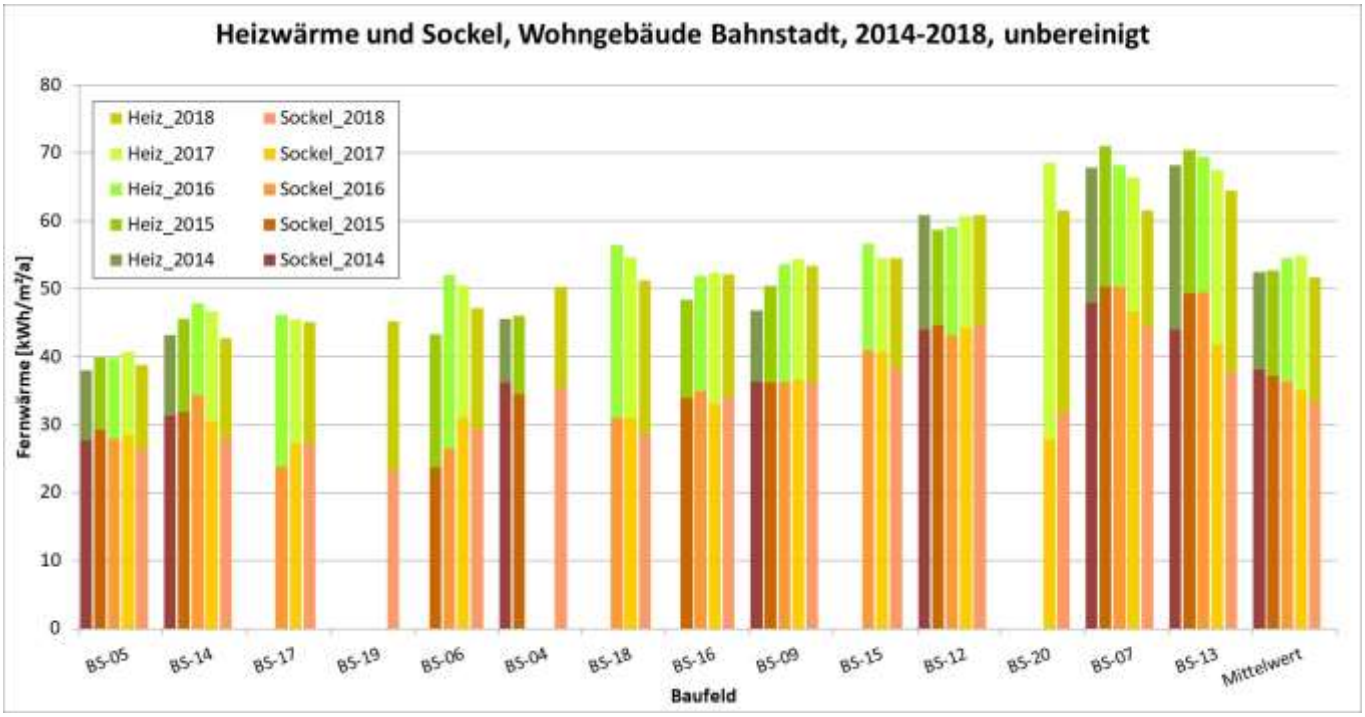


Abbildung 2: Heizwärme und Sockel

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 2018 zwischen 12,4 und 29,6 kWh/(m²a) bei einem Mittelwert von 18,3 kWh/(m²a). Der Mittelwert ist wieder auf das Niveau des Jahres 2016 gesunken, liegt aber immer noch 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 „Witterungsbereinigung“. Dieser Aspekt ist vermutlich dominant.
- Änderung der Stichprobe. Neue Baufelder haben z.T. hohe Kennwerte, sinken im Folgejahr dann aber wieder; vergleiche Baufelder BS-19 und BS-20. Die Werte für das bisher „beste“ Baufeld BS-04 liegen nun wieder vor, zeigen aber einen leichten Anstieg.
- Witterungseffekte. Die Baufelder zeigen keinen einheitlichen Verlauf (z.B. in Bezug auf das kalte Jahr 2016), so dass dieser Aspekt wohl untergeordnet ist. Es ist aber anzunehmen, dass der warme Winter in 2018 zur Senkung des Mittelwertes beiträgt. Siehe auch Abschnitt „Witterungsbereinigung“.
- 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 ± 4 kWh/(m²a) 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.

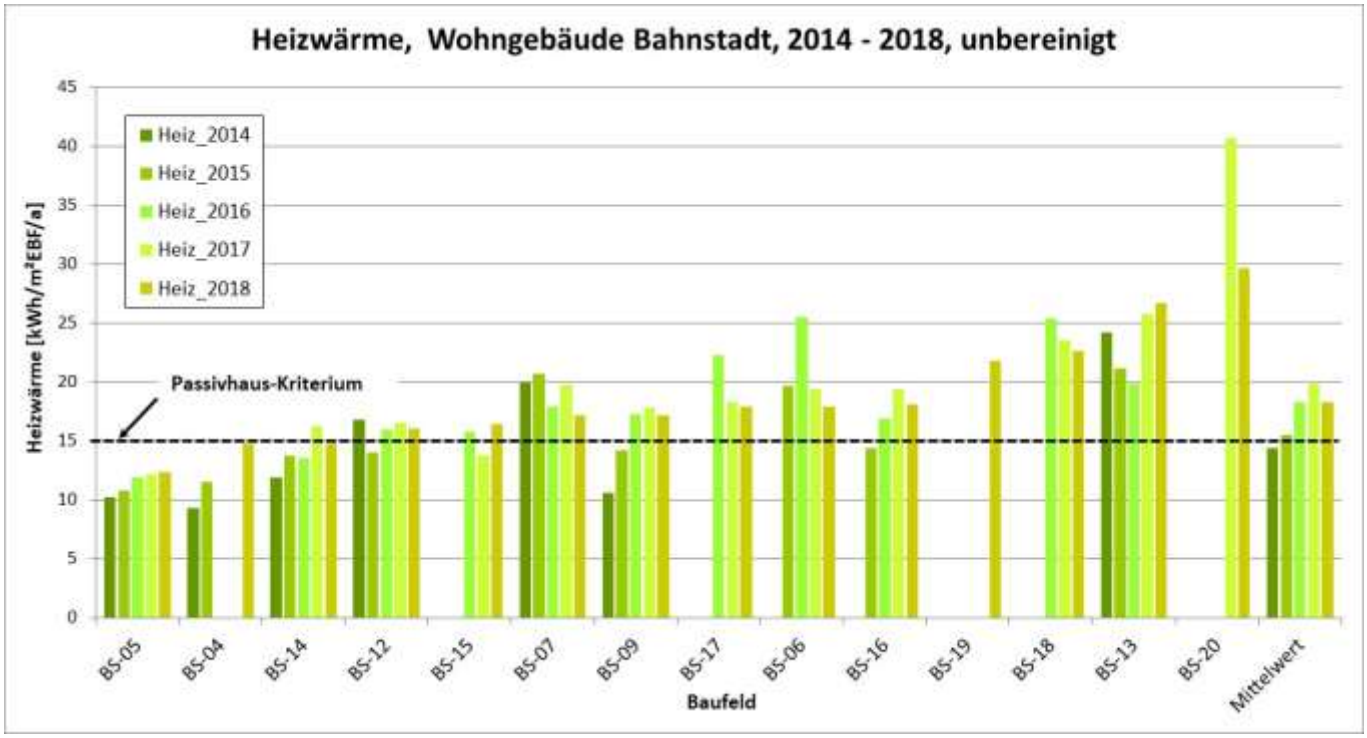


Abbildung 3: Heizwärme der Wohnbaufelder, unbereinigt, Messabweichung im Bereich ± 4 kWh/(m²a)

Sockel

Abbildung 4 zeigt den Sockelverbrauch, soweit Daten vorlagen. Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2018. Der Mittelwert ist tendenziell gesunken, da die Werte im zweiten Bauabschnitt oft niedrig sind; er lag in 2018 bei einem Wert von 33,4 kWh/(m²a).

Auch hier gibt es eine große Spannbreite zwischen 23,4 und 44,7 kWh/(m²a). Sofern Daten über 5 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.

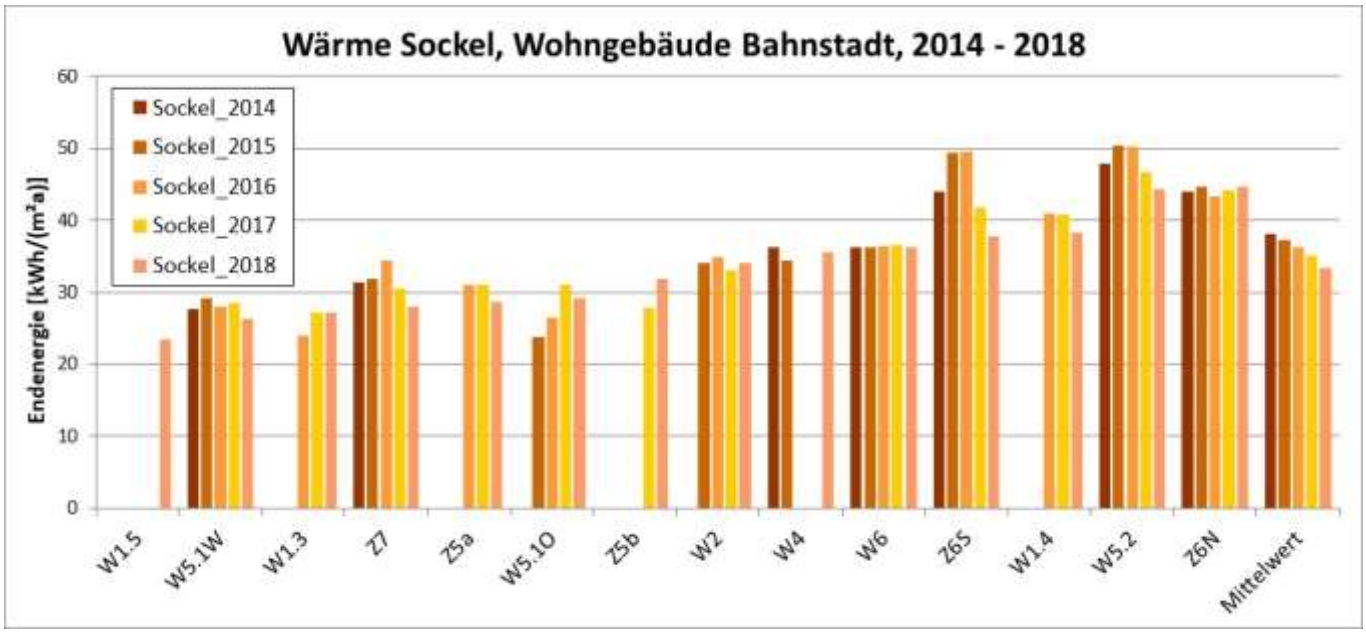


Abbildung 4: Sockel

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 Wetterdienstes[5]. 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 Korrekturfaktor[6] wie folgt:

	Korrekturfaktor	
Jahr	**Kalenderjahr**	**Abrechnungsjahr**
2014	1,29	1,27
2015	1,15	1,18
2016	1,05	0,98
2017	1,13	1,24
2018	1,23	1,21

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 seit 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 Stichprobe (siehe Seite 6), zum Anderen sind die Verbrauchswerte in vielen Fällen nicht entsprechend des besonders warmen Messzeitraums gefallen.

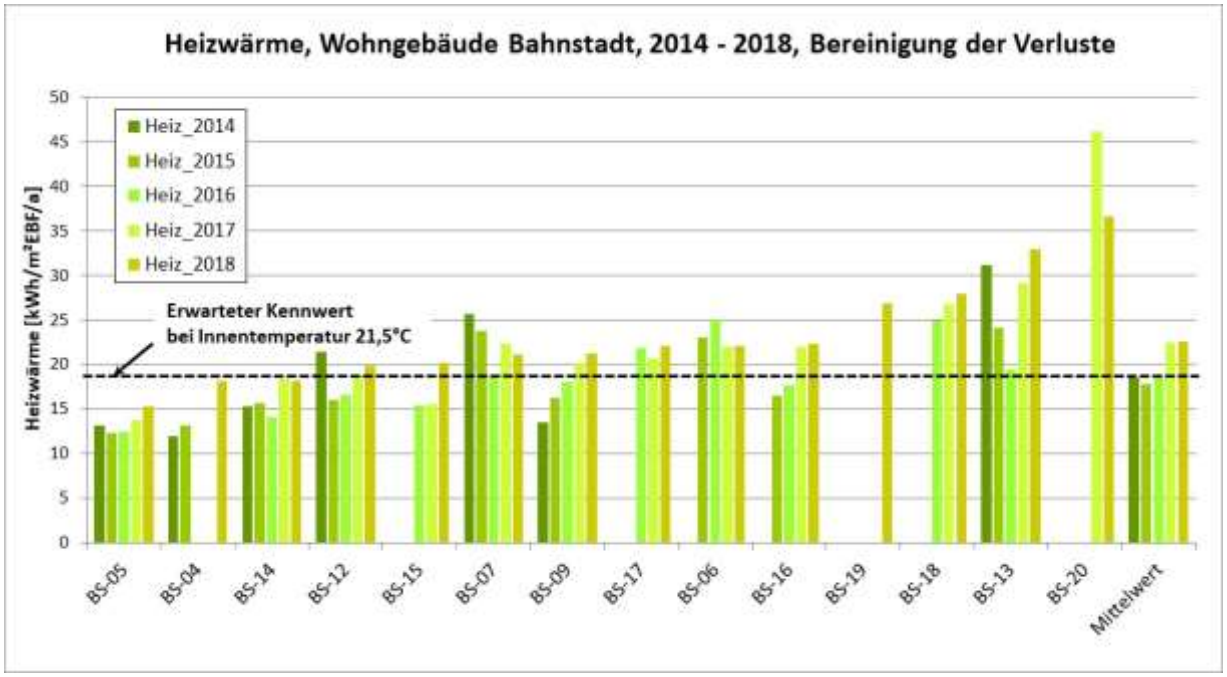


Abbildung 5: Heizwärme der Wohnbaufelder, Verluste witterungsbereinigt, Messabweichung ± 4 kWh/(m²a)

[5] Die Station Heidelberg ist seit 2012 geschlossen, so dass Daten der Station Mannheim verwendet werden.
[6] Der Verbrauchswert wird mit dem Korrekturfaktor multipliziert, um den witterungskorrigierten Wert zu erhalten.

Leistungsbezug und abgerechnete Leistung

Die Wärmemengenzähler erlauben es in der Regel, auch Leistungsdaten (Monatsspitzen) auszulesen. Die höchste bezogene Wärmeleistung der Jahre 2014-2018 wird in Abbildung 6 bezogen auf die EBF dargestellt. Sie variiert zwischen 12,1 und 27,2 W/m² bei einem Mittelwert von 19,9 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 40,3 W/m² den tatsächlichen Bedarf um 102%.

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]], das folgende Ansätze enthält:
- Gesamtleistung 24 bis 28 W/m²
- davon Heizleistung 10 W/m² und Warmwasser-Leistung 14 bis 18 W/m²

In der Tat überschreiten die Messwerte der Bahnstadt diese Ansätze nicht. Manche Baufelder haben sogar einen gemessenen Leistungsbedarf von unter 15 W/m², was möglicherweise durch eine besonders wirksame Vorrangschaltung zu erklären ist.

- 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 3,1 MW gesenkt werden, wobei Kosteneinsparungen von fast 140 T€ (netto) pro Jahr entstünden. Dazu finden bereits Gespräche zwischen Stadt Heidelberg, Stadtwerken und Hausverwaltungen statt.

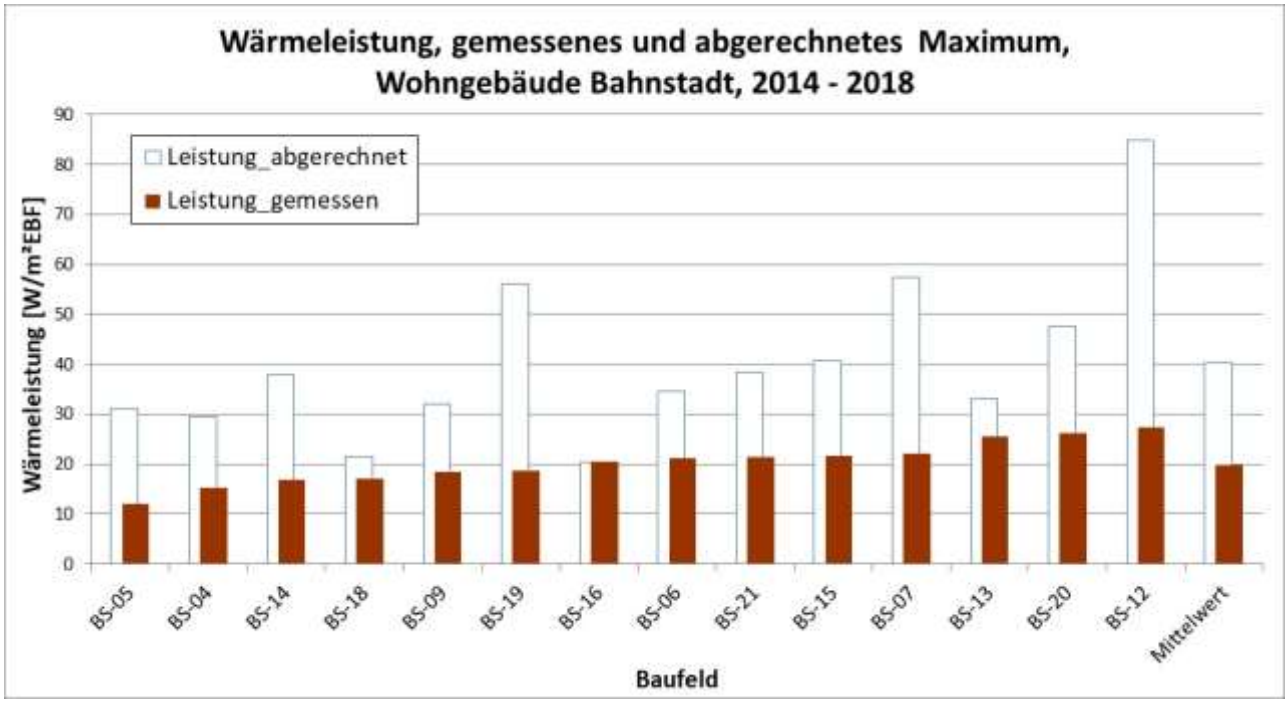
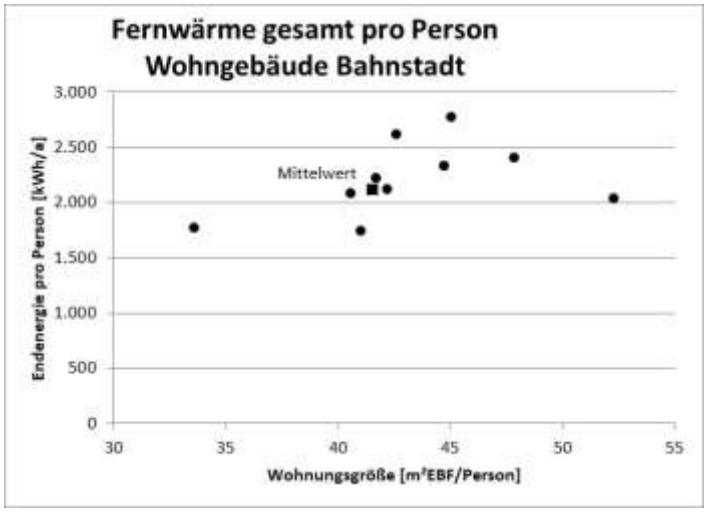


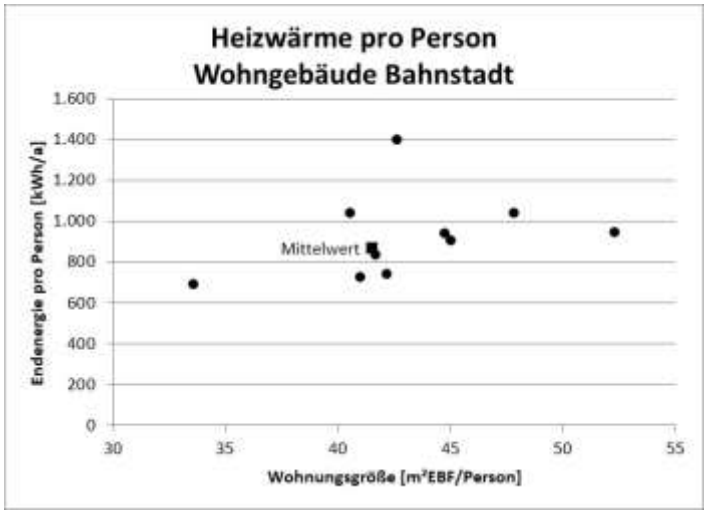
Abbildung 6: Leistungsbezug

Personenzahlen

Beim Amt für Statistik liegen Personenzahlen für die Wohnbaufelder vor, wobei die neuesten Werte das Jahr 2018 betreffen (4.162 Bewohner zum Stichtag 31.12.2018). Der Bezug auf die Personenzahl könnte neben dem Flächenbezug weitere Aspekte zum Verständnis der Verbrauchswerte liefern.

Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse für Gesamtwert, Sockel und Heizwärme, aufgetragen über die Wohnungsgröße (m^2_{EBF}/Person). Die dargestellten Einheiten sind hier nicht Baufelder, sondern Baublöcke, welche z.T. mehrere Baufelder enthalten.





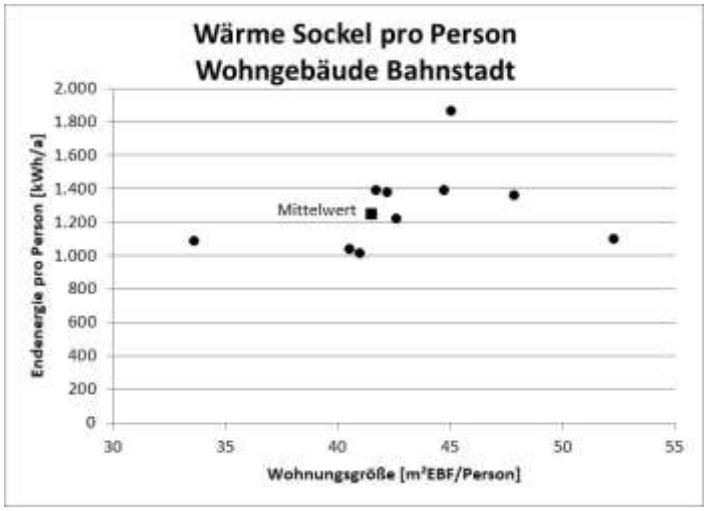


Abbildung 7: Wärme 2018 personenbezogen

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. Dabei ist die Endenergie durchgehend als Heizwert (Hi) angegeben. In der Stichprobe waren immerhin 15 Mehrfamilienhäuser und drei Studentenwohnheime enthalten; der Bezug erfolgte auf Bruttogrundfläche (BGF).

Abbildung 8 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)/m^2_{BGF}/a. Die entsprechenden Daten der Bahnstadt (Kategorie „EE“) sind als orangene Quadrate darübergelegt[7].

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

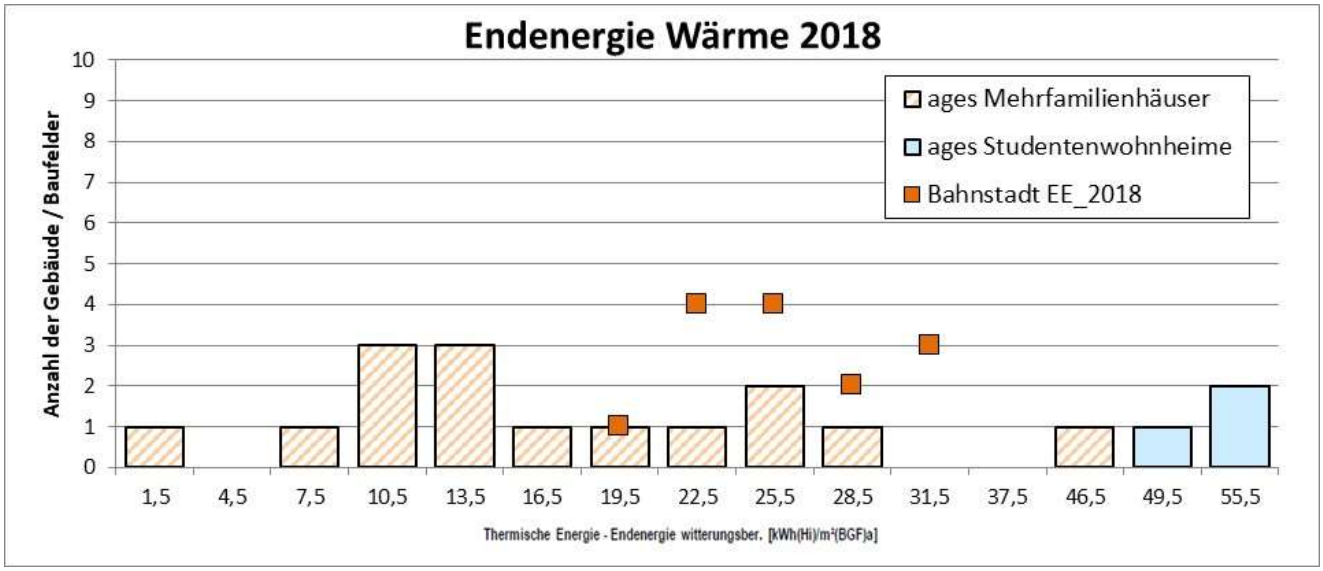


Abbildung 8: Wärmeverbrauch – Häufigkeitsverteilung (in Anlehnung an [ages 2015], Grafik 22)

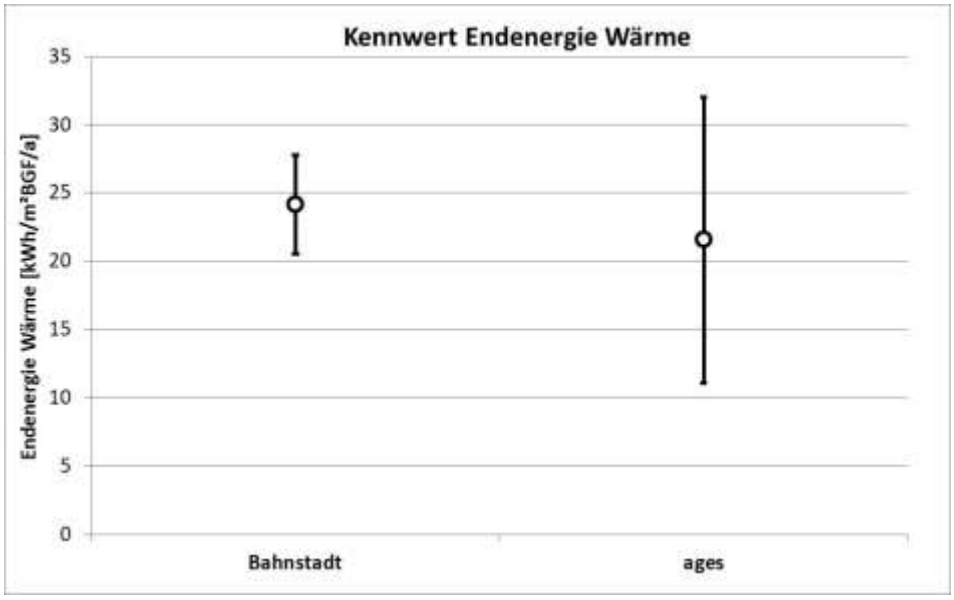
Zur Verdeutlichung sind die Mittelwerte und Standardabweichungen[8] in Abbildung 9 nochmals dargestellt. Folgende Aussagen ergeben sich:

- Die Gebäude der Bahnstadt liegen mit einem Mittel von 24,2 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.

- Die Studentenwohnheime der Bahnstadt haben keine signifikant höheren Verbrauchswerte als die Mehrfamilienhäuser. Insbesondere kommen Kennwerte um die 50 kWh(H_i)/m²$_{BGF}$/a in der Bahnstadt nicht vor.

Zusammengenommen sind die Werte der Bahnstadt unauffällig.



[8] Statistischer Fehler (korrigierte Stichprobenvarianz)

Abbildung 9: 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 10 aus [Techem 2018] zeigt in Grün die Häufigkeitsverteilung von 13.215 Mehrfamilienhäusern mit Fernwärme-Versorgung (Anlagen mit Warmwasser = „verbundene Anlagen“) für das Jahr 2017. Der nicht witterungsbereinigte[9] Mittelwert[10] liegt bei 105 kWh/m²/a.

Für die Bahnstadt ist die Kategorie „Gesamt“ zum Vergleich heranzuziehen, siehe Abbildung 1, Seite 5. Hier liegt der Mittelwert[11] bei 54,4 kWh/m²/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 unter 45 kWh/m²/a möglich sind (BS-05, BS-14, BS-17); die Differenz kann womöglich durch eine kontinuierliche Überprüfung von technischen Anlagen und Einstellparametern (Reduktion des „Sockels“) erschlossen werden.

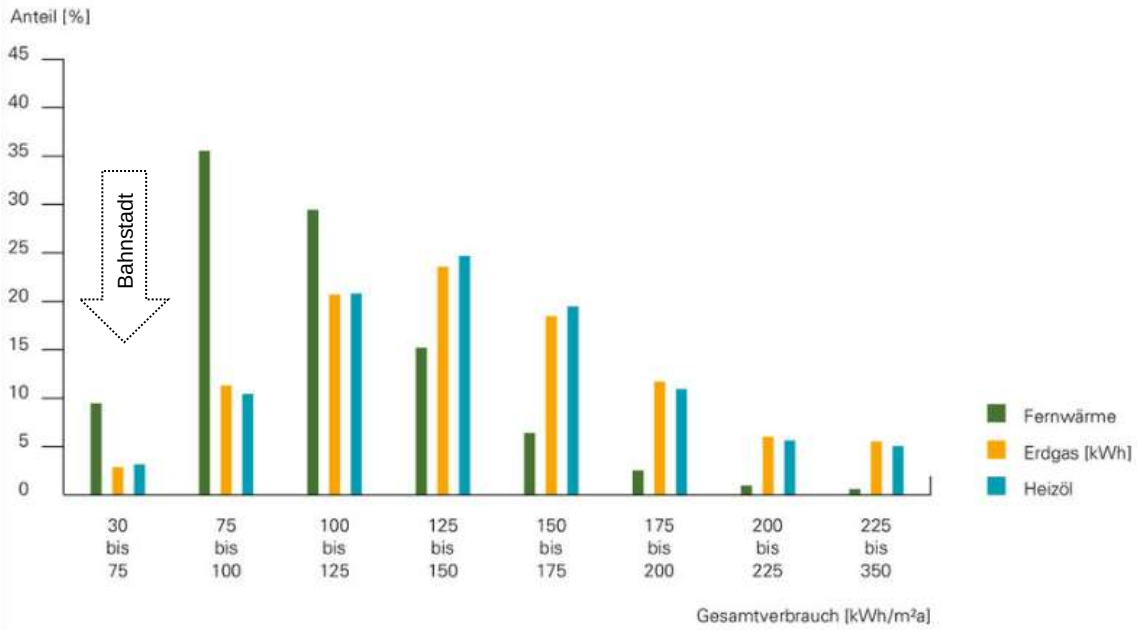


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung des spezifischen Gesamtverbrauchs in verbundenen Anlagen im Bundesdurchschnitt, Bezug auf Wohnfläche (aus [Techem 2018], nicht witterungsbereinigt)

[9] Bereinigte Daten sind in der Quelle nicht genannt. Zitat Techem: „Bezüglich der Außentemperatur in der Heizperiode war 2017 ein mäßig warmes, fast durchschnittliches Jahr. So betrug der mittlere Klimafaktor (Referenz Potsdam) in Deutschland für 2017 rund 1,043.“

[10] 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 (…) 30 kWh / m² (Fernwärme) liegt“.

[11] Bezugsjahr 2017. 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).

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 2018 sind in Abbildung 11 dargestellt[12].

Die Ist-Werte liegen zwischen 8,5 und 14,4 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 auf den Messwert erzielbar wären; diese liegen im Durchschnitt[13] bei 8,3 Ct/kWh.

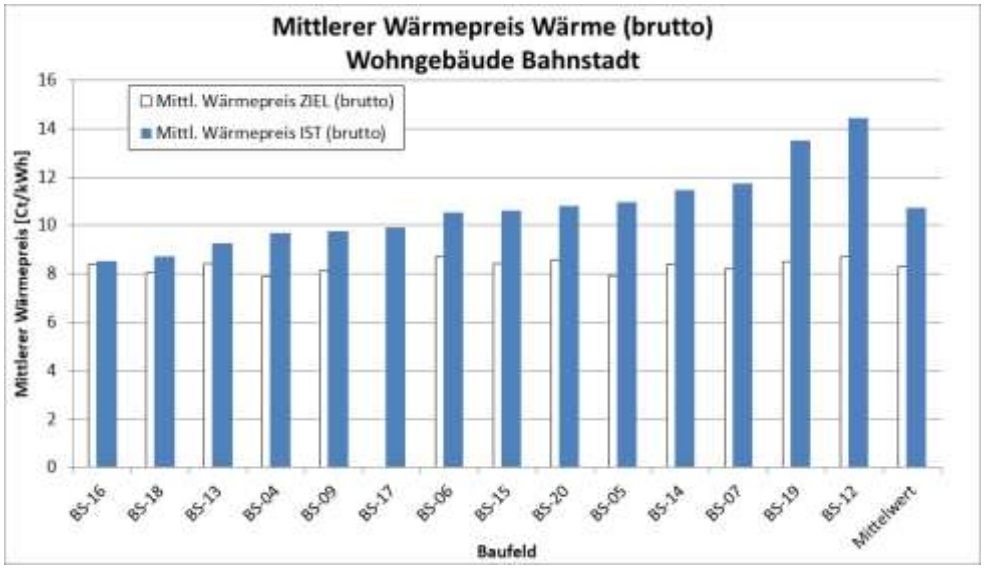


Abbildung 11: Mittlerer Wärmepreis, Bezugsjahr 2018

[12] Zugrunde gelegt sind die Brutto-Preise des Vertrags „heidelberg WÄRME“ mit Arbeitspreis 6,221 Ct/kWh und Leistungspreis 58,88 €/kW/a.

[13] sofern auswertbare Messdaten vorliegen

3 Strom

3.1 Energieverbrauch Strom

Die Erschließung der Bahnstadt erfolgt in Baufeldern, für deren Stromzähler im Berichtsjahr jeweils Jahresdaten vorlagen.

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.

Die Stichprobe war in 2018 gegenüber dem Vorjahr unverändert. Es wurden nur Baufelder berücksichtigt, in denen der Bezug bereits im Vorjahr begonnen hat.

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

Jahr	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	
Baufelder	----	9	13	14	14	[Stück]
Energiebezugsfläche (EBF)	----	103.758	144.036	153.370	153.370	[m²]
Wohneinheiten (WE)	----	1.381	2.164	2.268	2.268	[Stück]
Gewerbeeinheiten	----	19	23	31	31	[Stück]

Tabelle 3: Übersicht der Baufelder Strom

Strom gesamt

Die folgende Abbildung 12 stellt die gesamte Stromabnahme des Baufeldes dar, wobei die Tiefgaragen inbegriffen sind. Die Daten enthalten auch die Gewerbeeinheiten. Dargestellt sind 4 Jahre, nämlich 2015 bis 2018 („Geb“ = „Nutz“ + „Allg“).

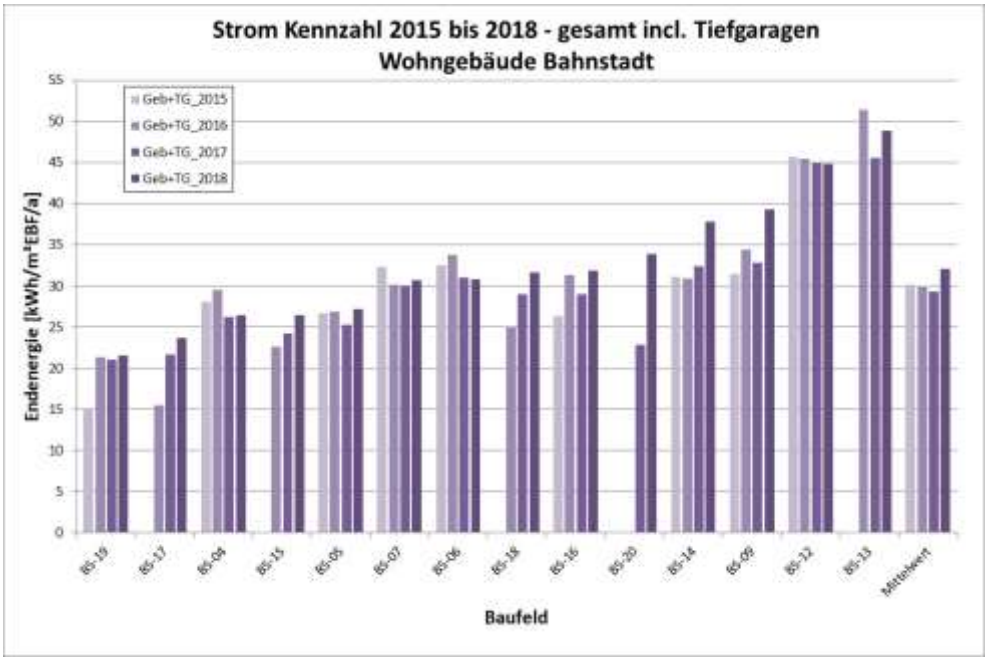


Abbildung 12: Strom gesamt incl. Tiefgaragen

Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2018. Es zeigt sich, dass die Werte eine große Spannbreite zwischen 21,5 und 48,9 kWh/(m²a) aufweisen.

Die Kategorie ganz rechts zeigt den Mittelwert aller Baufelder; dieser ändert sich einerseits durch Nutzereinflüsse, andererseits vermutlich auch durch den allmählichen Bezug der Objekte. Er ist in 2018 deutlich angestiegen und liegt nun bei einem Wert von 32,1 kWh/(m²a).

In Abbildung 13 ist der Anteil der Tiefgaragen abgezogen, soweit nutzbare Daten vorlagen. Diese Daten dienen zum Vergleich mit anderen Datenquellen, siehe Abschnitt 3.2.

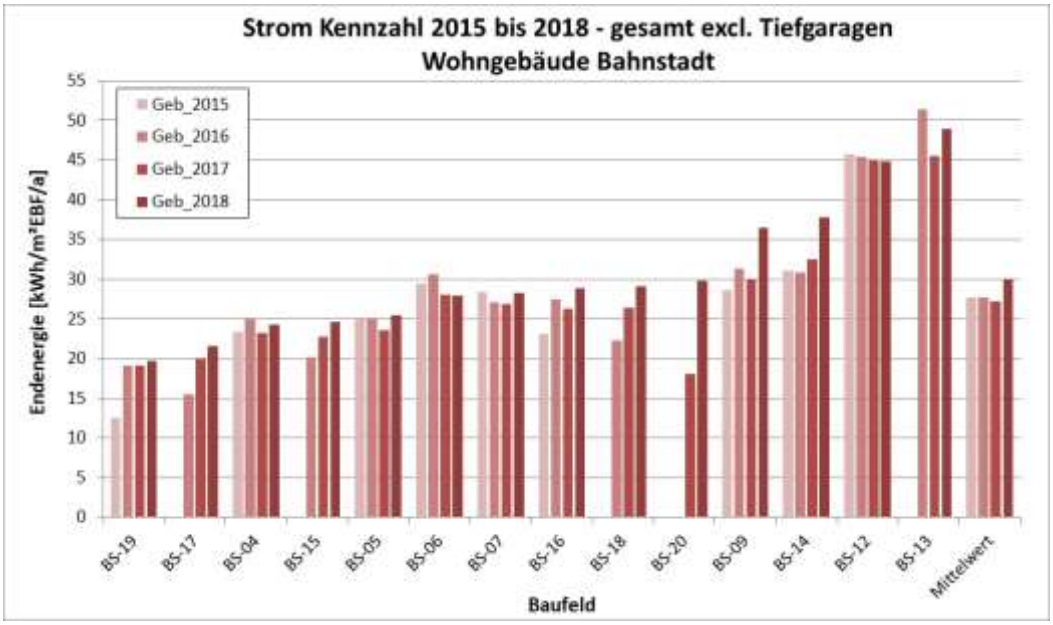


Abbildung 13: Strom gesamt excl. Tiefgaragen

In Abbildung 14 sind die Daten aus Abbildung 12 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.

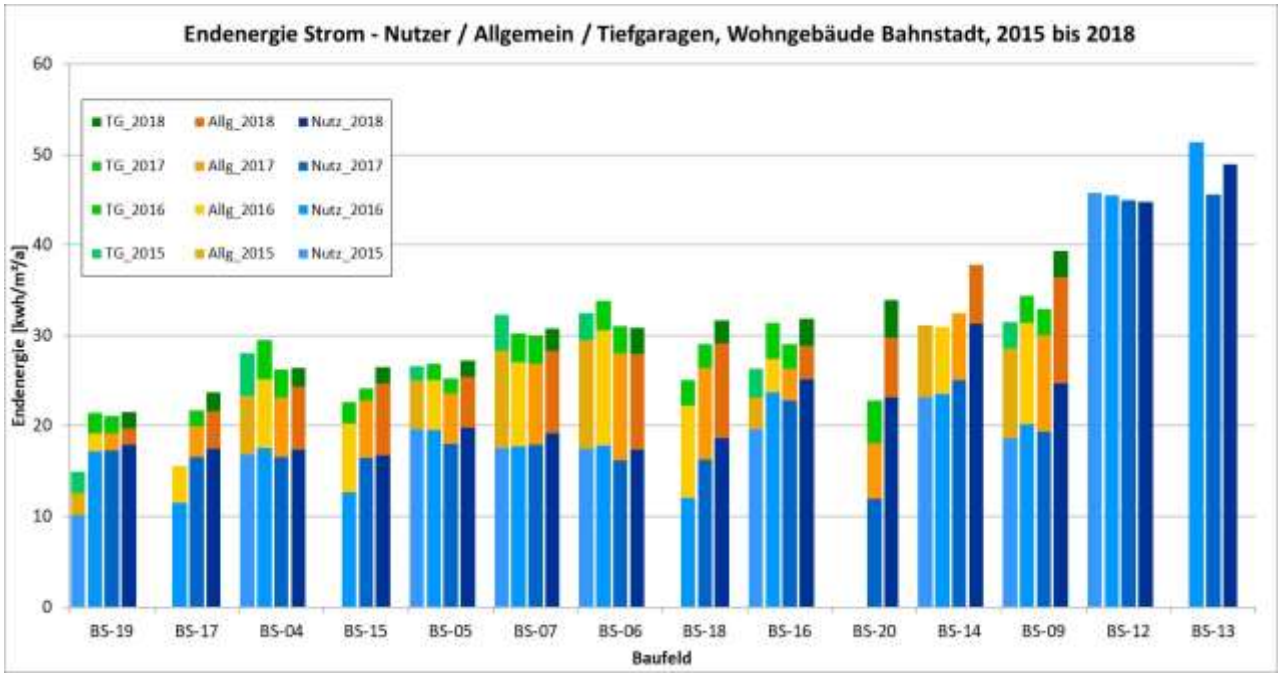


Abbildung 14: Strom gesamt - aufgetrennt

Nutzerstrom und Allgemeinstrom

Abbildung 15 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 16,7 und 31,3 kWh/(m²a), was die unterschiedliche Intensität der Nutzung wiederspiegelt (z.T. Studentenappartements, z.T. Gewerbe, …). Es ergibt sich ein Mittelwert von 20,9 kWh/(m²a).

Für diese 12 Baufelder kann entsprechend auch der Mittelwert des Allgemeinstroms ermittelt werden (orangene Anteile in Abbildung 14). Er ergibt sich zu 7,3 kWh/(m²a) bei einer Streuung zwischen 1,8 und 11,7 kWh/(m²a) und macht im Schnitt einen Anteil von 26% des Gesamtwertes aus[14].

Interessant ist der Einfluss Lüftungskonzepts (zentral / dezentral). Eine Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 16 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 4,5 kWh/m²/a höher.

Dies liegt im Bereich des erwarteten Lüfterstroms: Eine einfache Abschätzung[15] führt auf rund 3 kWh/m²/a. Direkte Messwerte für den Lüfterstrom liegen für zwei Baufelder aus Zählerdaten vor, sie sind aber mit anderen Nutzungsbereichen vermischt und nicht ohne Weiteres auswertbar.

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

[15] 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/m²/a = 2,96 kWh/m²/a

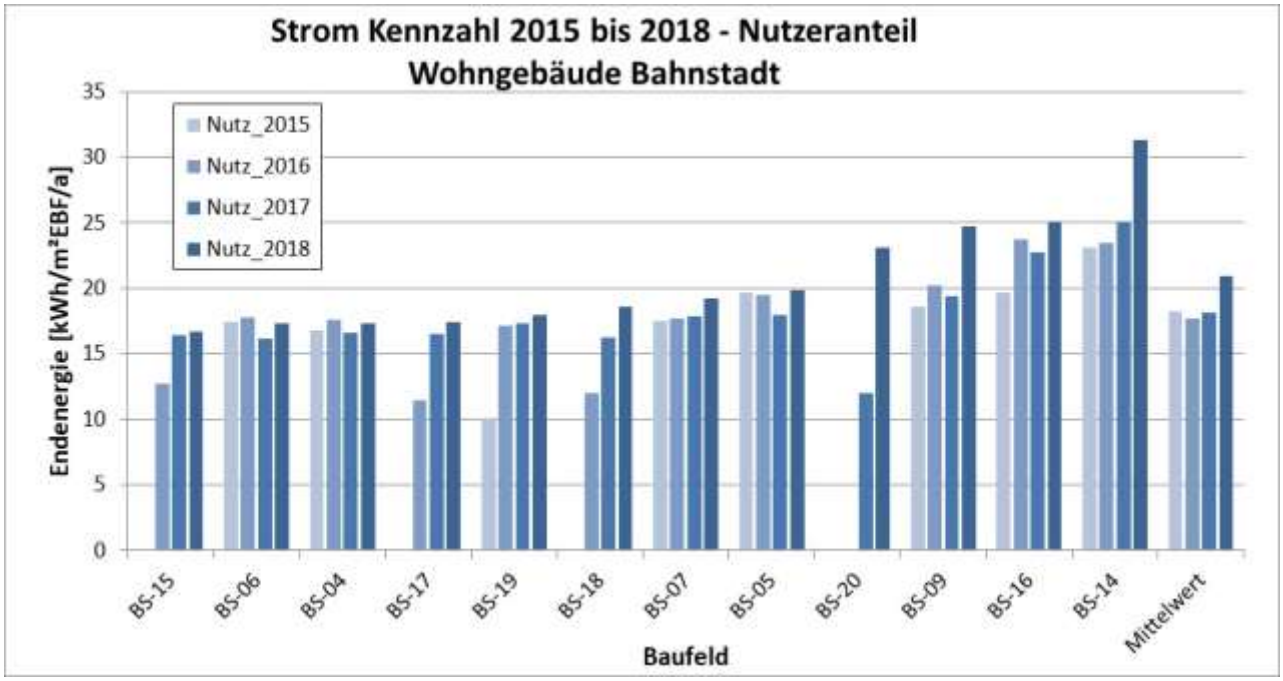


Abbildung 15: Strom Nutzer

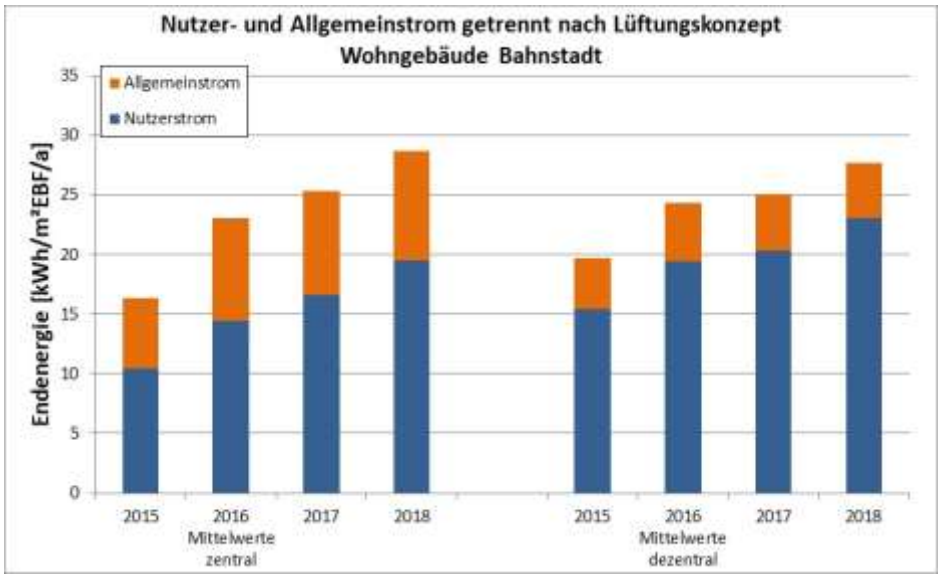


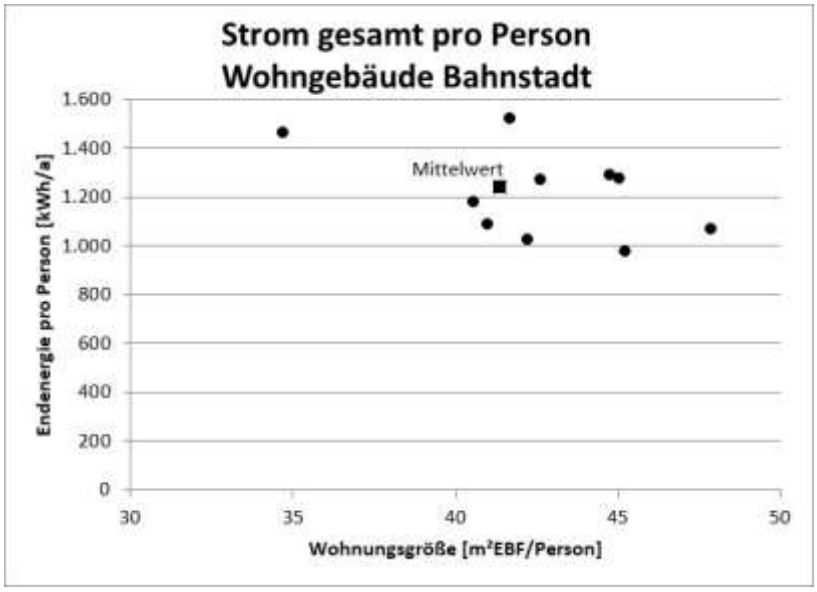
Abbildung 16: Mittelwerte der Baufelder mit zentralem / dezentralen Lüftungskonzept

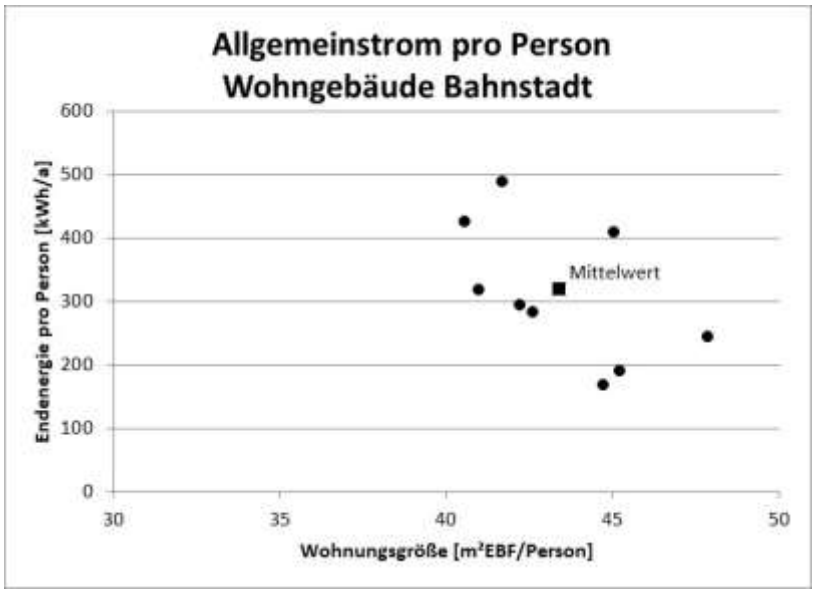
Personenbezug

Analog zur Wärme (siehe Seite 11) kann auch hier eine Auswertung auf die Personenzahl (Bewohner zum 31.12.2018) erfolgen. Dabei wird wiederum unterschieden zwischen der Gesamtmenge (excl. Tiefgarage und Außenanlagen, incl. Gewerbe), Allgemeinstrom und Nutzerstrom.

Die Ergebnisse zeigen die Grafiken in Abbildung 17. Es zeigt sich, dass der Gesamtwert mit recht geringer Streuung bei 1.244 kWh/Person/a liegt. Nach Abzug des Allgemeinstroms ergibt sich der Nutzerstrom zu rund 856 kWh/Person/a[16]. Dabei haben Bewohner von großen Wohnungen tendenziell einen etwas höheren Verbrauch.

[16] Für einzelne Baublöcke ist diese Auswertung nicht möglich, da Daten zum Allgemeinstrom fehlen.





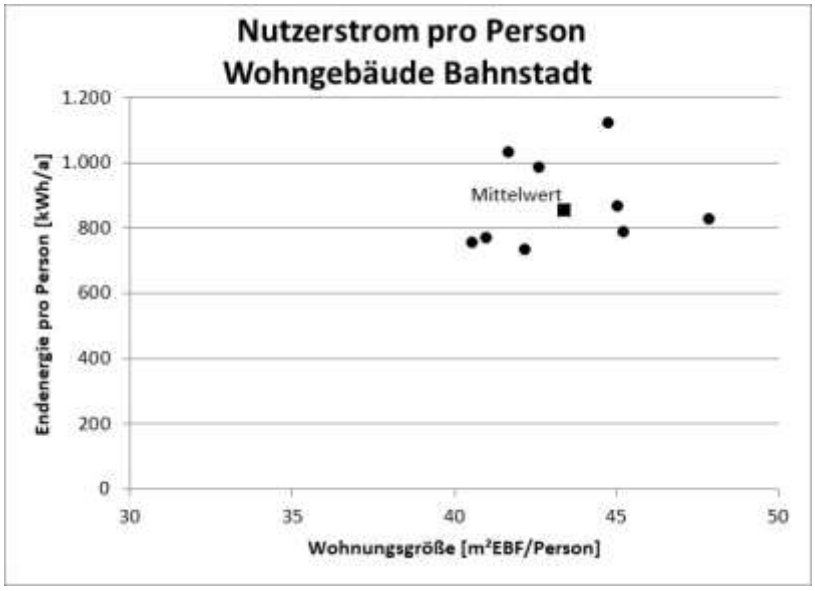


Abbildung 17: Strom 2018 personenbezogen

Tiefgaragen

Für 11 Baufelder ist der Stromverbrauch der Tiefgarage bekannt; er wird auch hier auf die EBF bezogen. Abbildung 18 zeigt den Verlauf und den Mittelwert, der zuletzt zwischen 1,8 und 4,1 kWh/(m²a) und bei einem Mittelwert von 2,5 kWh/(m²a) lag. Bemerkenswert ist, dass der Wert in 2018 in den meisten Baufeldern – z.T. deutlich – gesunken ist; die Gründe dafür sind in den meisten Fällen unbekannt.

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.

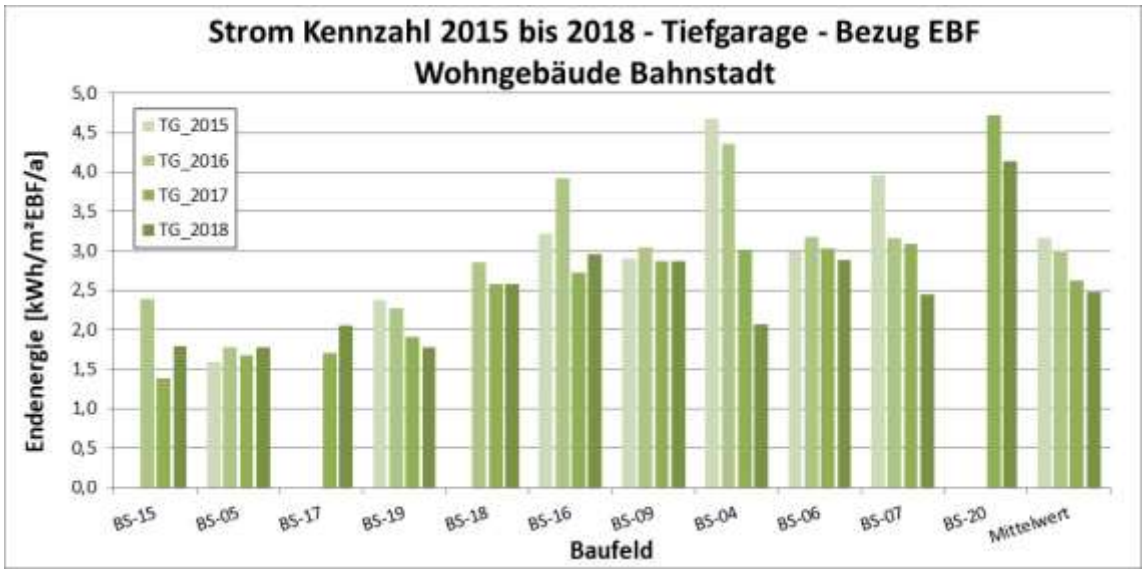


Abbildung 18: Strom Tiefgarage, Bezug EBF

Bezug auf Stellplätze

Abbildung 19 zeigt die gleichen Verbrauchsdaten mit Bezug auf Stellplätze [Heidelberg 2018]. Auch hier ist die Bandbreite mit 150 bis 322 kWh/Stellplatz/a recht hoch bei einem Mittelwert von 234 kWh/Stellplatz/a im Jahr 2018.

Interessant ist, dass die Reihenfolge der Baufelder sich z.T. geändert hat; zum Beispiel ist BS-18 in Bezug auf die EBF (Abbildung 18) 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.

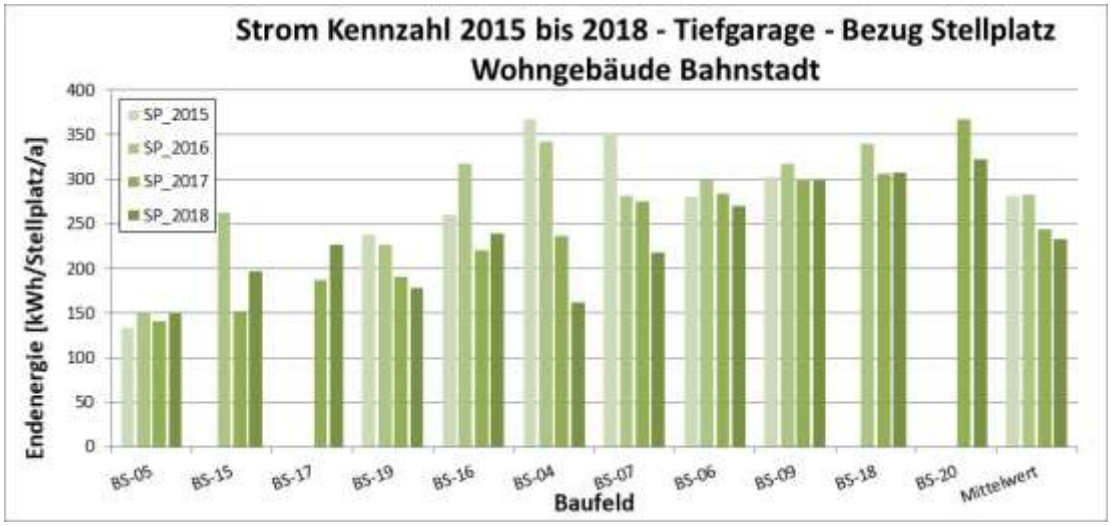


Abbildung 19: Strom Tiefgarage, Bezug Stellplatz

3.2 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 20 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 kWh/m²$_{BGF}$/a. Die entsprechenden Daten der Bahnstadt (Kategorie „Geb“ = „Nutz“ + „Allg“, Abbildung 13, Seite 17) sind als orangene Quadrate darübergelegt[17].

Zur Verdeutlichung sind die Mittelwerte und Standardabweichungen[18] in Abbildung 21 nochmals dargestellt. Die Werte der Bahnstadt sind bei einem Mittel von 14,1 kWh/m²$_{BGF}$/a – im Rahmen der Genauigkeit – auf dem gleichen Niveau wie die Vergleichsdaten, obwohl hier auch 31 Gewerbeeinheiten inbegriffen sind.

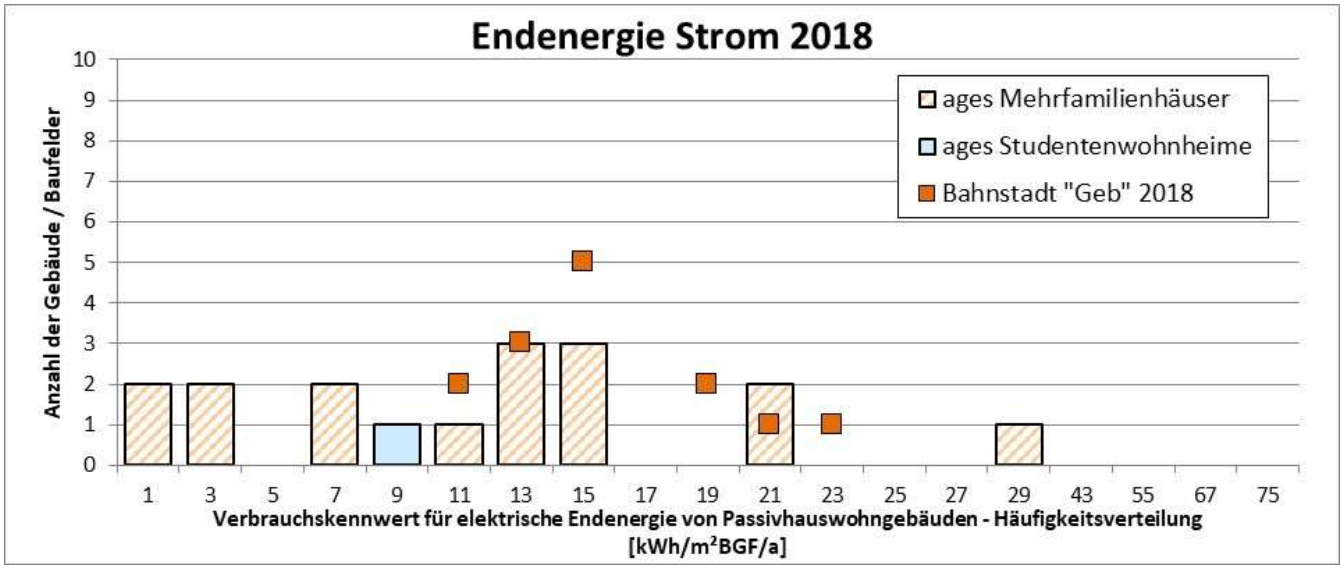


Abbildung 20: Stromverbrauch – Häufigkeitsverteilung (in Anlehnung an [ages 2015], Grafik 20)

[17] 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 ≈ EBF).

[18] Statistischer Fehler (korrigierte Stichprobenvarianz)

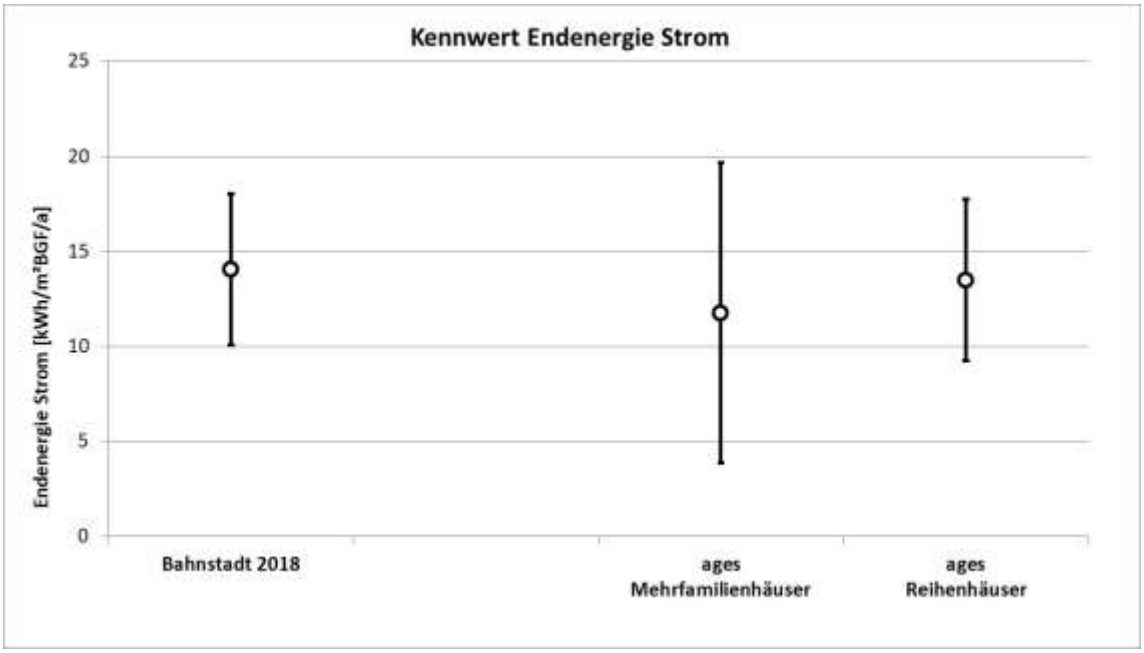


Abbildung 21: Kennwert Endenergie Strom – Mittelwert und Standardabweichung

Wohnungen - Vergleich mit bundesweiten Statistiken

In Zusammenarbeit zwischen Umweltbundesamt und den Verbänden der Stromwirtschaft werden regelmäßig Statistiken veröffentlicht, zuletzt im Jahr 2019 [co2online 2019]. 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 umgerechnet[19]. Für Wohnungen ohne elektrische Warmwasserbereitung ergibt sich die Spanne der Vergleichskennwerte wie folgt:

Vergleichskennwerte Strom	Kennwert niedrig [kWh/m²WF/a]	Kennwert durchschnittlich [kWh/m²WF/a]	Kennwert hoch [kWh/m²WF/a]
1 Person	14	26	44
2 Personen	17	31	43
3 Personen	19	34	53
4 Personen	20	33	54
5 und mehr Personen	18	35	62

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 20,9 kWh/m²EBF/a (Abbildung 15) und ist damit – trotz des Anstiegs in 2018 – noch als niedrig zu bewerten[20].

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

[20] In der Bahnstadt entfallen im Schnitt 1,25 Bewohner auf eine Wohneinheit. Dieser niedrige Wert resultiert aus der großen Zahl von Studentenappartements.

Sogar Kennwerte von 25 bis 30 kWh/m²EBF/a, wie sie in den Baufeldern BS 14 und BS 16 verzeichnet werden, sind noch unterdurchschnittlich; dabei sind in beiden Fällen sogar dezentrale Lüftungsanlagen inbegriffen.

Es sei darauf hingewiesen, dass auch der Mittelwert in der Kategorie „Gesamt“ von 30,1 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 10 Baublöcke sind Einwohnerzahlen bekannt, siehe Seite 19. Es ergab sich in der Kategorie „Nutz“ ein Kennwert von rund 856 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	1.300	1.500	1.800	2.200	2.533
2 Personen	650	**800**	1.000	1.200	1.300	1.500	1.633
3 Personen	533	667	**833**	967	1.133	1.333	1.511
4 Personen	475	575	700	**800**	975	1.125	1.292

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 1.244 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 CO_2-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 sind[21]:

- 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 genannt[22].

Außer den 14 Wohnbaufeldern dieses Berichtes sind in diesem Abschnitt auch Informationen über 8 Nichtwohnbaufelder enthalten.[23]

	EBF	**BGF[24]**	**EE_Wärme**	**Lstg_Wärme[25]**	**EE_Strom[26]**	**Bewohner**	**Wohneinheiten**
	m²	m²	MWh	kW	MWh	Stck.	Stck.
Stand 2018							
Summe erfasste Objekte	216.414	403.081	10.708	4.869	8.577	-----	-----
davon Wohnbau	153.370	328.059	7.929	3.073	4.917	4.162	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 2018 am Planungswert							
erfasste Objekte		32%	14%	46%	36%	-----	-----
nur Wohnbau		26%	10%	29%	20%	61%	61%

Tabelle 6: Übersicht der Rahmendaten 2018 im Vergleich zum Planungswert

Aus den Zeilen „Anteil 2018 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 61% fertiggestellt.

[21] Auslegungswerte lt. https://www.swhd.de/de/SWH/Unternehmen/Energiekonzeption/Energie-nachhaltig-erzeugen/Holz-Heizkraftwerk/FAQ/ (16.10.2019). Reale Erzeugung in 2017 lt. SWH: 17 MWh Strom und 71 MWh Wärme.

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

[23] Wg. Datenschutz mussten z.T. Daten den Vorjahres verwendet werden.

[24] Für 2017 überschlägig aus der EBF ermittelt. Flächenumrechnung Wohnbau: Siehe Fußnote 7. Flächenumrechnung Nichtwohngebäude: Faktor für „Verwaltungsgebäude, höhere technische Ausstattung“ BGF/NGF = 1,19 ([ages 2015] Abschnitt 8.7).

[25] Höchste gemessene Wärmeleistung der Jahre 2015-2017, einfache Summe der Baufelder

[26] Gesamtwert des Baufeldes, d.h. inklusive Tiefgaragen

- 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.

4.2 Primärenergie (PE)

Nach den Richtlinien der Passivhausbauweise sind zwei wesentliche Zielwerte einzuhalten:

- Heizwärmebedarf ≤ 15 kWh/(m²a)

- Primärenergiebedarf ≤ 95 kWh/(m²a).

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 2018	**PE_Wärme**	**PE_Strom[27]**	**PE_Summe**	**PE_Kennwert**
	MWh	MWh	MWh	kWh/(m²a)
Summe erfasste Objekte	5.354	14.889	20.243	101
davon Wohnbau	3.965	8.300	12.265	80
davon Nichtwohngebäude	1.390	6.588	7.978	184

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 80 kWh/(m²a) deutlich unter dem Zielwert. Dieses Ergebnis ist als hervorragend zu bewerten.

- Die Nichtwohngebäude haben deutlich höhere Kennwerte von 184 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 herausgegeben[28].

- Der PE-Gesamtwert aller erfassten Objekte liegt – incl. der o.g. speziellen Nutzungen – mit 101 kWh/(m²a) nur knapp über dem Zielwert von 95 kWh/(m²a). Damit hat das Energiekonzept der Bahnstadt die Erwartungen auch in der Praxis erfüllt.

[27] Ohne Tiefgaragen, soweit abtrennbar.

[28] Siehe https://www.heidelberg-bahnstadt.de/,Lde/968149.html

4.3 Klimaschutz (CO_2-Äquivalente)

Mittels einer CO_2-Bilanz können die Verbrauchwerte auch bezüglich des Klimaschutzes bewertet werden. Dabei werden zwei Varianten zur Diskussion gestellt:

Bewertung mit Durchschnittsfaktoren für Heidelberg

Hier wird der Treibhauseffekt mit folgenden CO_2-Äquivalenten bewertet:

- CO_2äqu-Faktor Fernwärme Heidelberg: 0,167 kg/kWh (Quelle: Stadtwerke Heidelberg 2016)
- CO_2äqu-Faktor Strommix Deutschland: 0,565 kg/kWh (Quelle: KEA/GEMIS 2017)[29]

Tabelle 8 stellt die Ergebnisse zusammen.

Stand 2018	**CO_2äqu_Wärme**	**CO_2äqu_Strom[26]**	**CO_2äqu_Summe**	**CO_2äqu_Kennwert**
	t/a	t/a	t/a	kg/(m²a)
Summe erfasste Objekte	1.788	4.846	6.634	33
davon Wohnbau	1.324	2.778	4.102	27
davon Nichtwohngebäude	464	2.068	2.532	58

Tabelle 8: CO_2-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 0,99 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 21) lassen sich über die BISKO-Methode eigene Emissionsfaktoren bestimmen [BISKO 2018]:

- CO_2-Faktor Wärme: 0,017 kg/kWh
- CO_2-Faktor Strom: 0,080 kg/kWh

Damit ergeben sich:

Stand 2018	**CO_2 Wärme**	**CO_2 Strom[26]**	**CO_2 Summe**	**CO_2 Kennwert**
	t/a	t/a	t/a	kg/(m²a)
Summe erfasste Objekte	182	690	872	4
davon Wohnbau	135	395	530	3
davon Nichtwohngebäude	47	294	342	8

Tabelle 9: CO_2-Emissionen, Übersicht der Absolutwerte und Kennwerte (Bezug EBF)

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

[29] https://www.kea-bw.de/kommunaler-klimaschutz/wissensportal/emissionsfaktoren (16.10.2019)
http://iinas.org/gemis-download-121.html:„update zu Ergebnissen aus GEMIS 5.0 kommt Mitte Oktober 2019!“ RP recherchiert nach dem Wert aus dem letzten ifeu-Gutachten.

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 2019]),
- für den Rhein-Neckar-Kreis liegt der Durchschnittswert bei 2,79 t/Pers./a (Bezugsjahr 2015, [KliBA 2018b]).

Abbildung 22 zeigt die Ergebnisse der Bahnstadt mit den beiden oben diskutierten Bilanzmethoden im Vergleich zum Durchschnittswert der Stadt Heidelberg. Die Passivhaus-Bauweise führt zusammen mit der Versorgung durch das Holz-Heizkraftwerk zu einer CO_2-Einsparung von 94%.

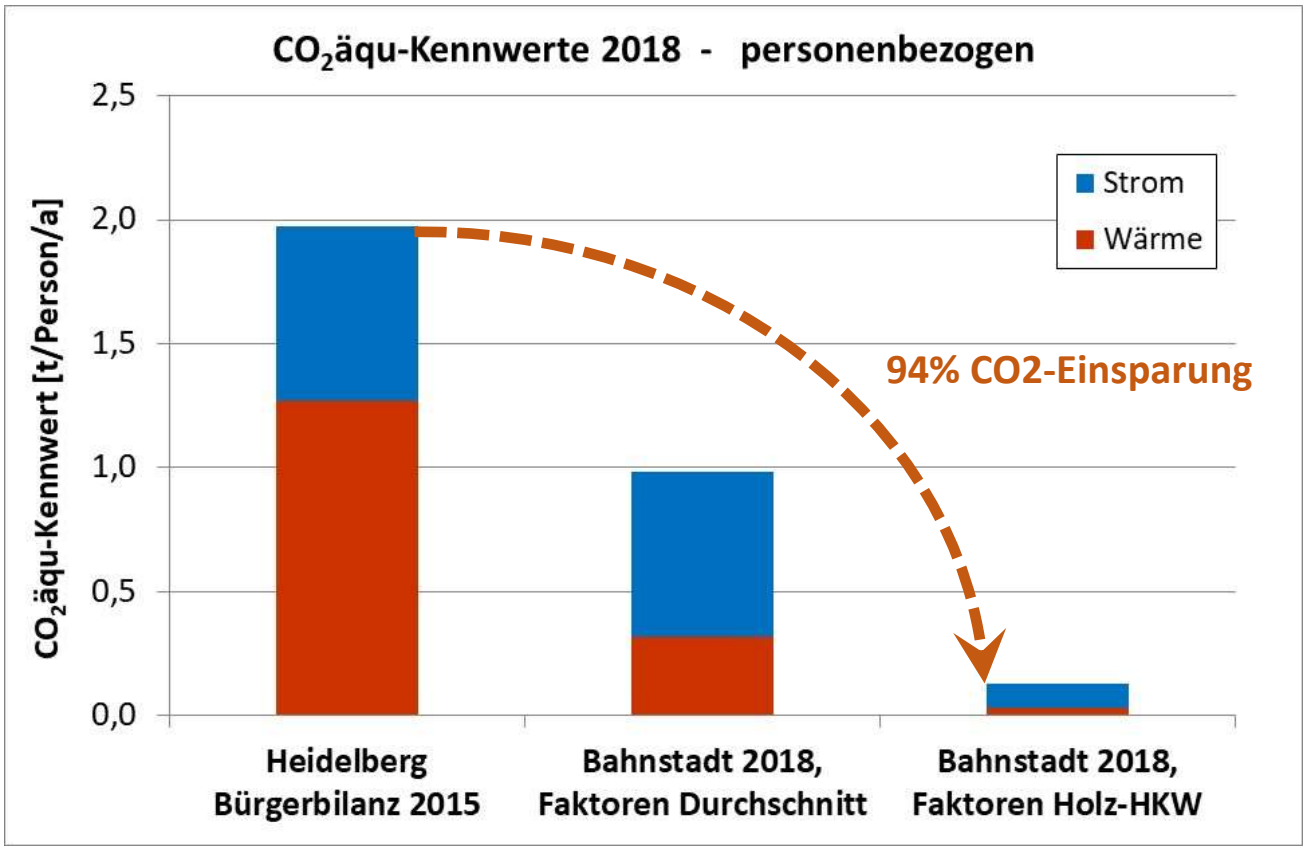


Abbildung 22: Kennwert Endenergie Strom – Mittelwert und Standardabweichung

Masterplan 100% Klimaschutz

Heidelberg beteiligt sich als eine Modellkommune am Förderprogramm „Masterplan 100% Klimaschutz“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Ziel ist die klimaneutrale Kommune: Bis 2050 will Heidelberg den Energiebedarf der Kommune um die Hälfte reduzieren und die CO_2-Emissionen um 95% – d.h. den Faktor 20 – senken.

Die Bahnstadt ist dabei ein wichtiger Baustein. Abbildung 22 zeigt, dass der „Faktor 20“ für den Wohnbau des Stadtteils bereits Realität ist.

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 erforderlich[30]:

- 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 $A_N = 0{,}32\ m^{-1} \cdot V_e$).

- Wohnfläche (WF) nach Wohnflächenverordung (WoFlV 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 WoFlV berücksichtigt aber auch Loggien und Balkone (mit Abschlägen). 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 3.2 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/(m²a)]	52	38	49	24
Strom [kWh/(m²a)]	30	22	28	14
Fläche Bahnstadt [m²]	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.

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

5 Fazit

Für den Stadtteil „Bahnstadt“ liegen nunmehr über fünf 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 fünf 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 zusammenfassen[31]:

- 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 18,3 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 51,7 kWh/(m²a). Das ist nur die Hälfte des Bundesdurchschnitts für Mehrfamilienhäuser mit Fernwärme-Versorgung (Seite14). Die besten Baufelder der Bahnstadt zeigen, dass Kennwerte von unter 45 kWh/m²/a möglich sind.

- Der Stromverbrauch liegt im Mittel der Wohnbaufelder bei 30,1 kWh/(m²a). Darin ist neben dem Haushaltsstrom auch der Allgemeinstrom enthalten, d.h. Allgemeinbeleuchtung, Aufzug und sogar alle Lüftungsanlagen[32]. Dennoch liegt der Wert im Vergleich mit bundesweiten Statistiken innerhalb der normalen Bandbreite (Seite 24).

- Die Gesamtbewertung der Bahnstadt ist – obwohl die Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist – sehr positiv:
  - die Primärenergie-Bilanz entspricht den Vorgaben der Passivhaus-Bauweise (Seite 26),
  - die CO_2-Emissionen liegen deutlich unter dem Heidelberger Durchschnittswert (Seite 27) und
  - die Ziele des „Masterplan 100% Klimaschutz“ sind für den Wohnbau realisiert (S. 28).

[31] Kennwerte jeweils mit Bezug auf das Jahr 2017 und die Energiebezugsfläche „EBF“

[32] Ohne Tiefgaragen, soweit abtrennbar.

Trotz dieser positiven Schlaglichter 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 2019] Stromspiegel 2019, co2online, Berlin 2019

[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 2019] Masterplan 100 % Klimaschutz – https://www.heidelberg.de/hd,Lde/HD/Leben/Entscheidungen+Gemeinderat.html

[Heidelberg 2018] Zählung der realisierten Stellplätze vor Ort, Stadt Heidelberg, Stand Juni 2018

[ifeu 2019] „CO_2-Bilanzierung bis 2018 für die Stadt Heidelberg“, Endbericht, ifeu GmbH, Heidelberg 2019

[IWU 2015] Deutsche Wohngebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, IWU Darmstadt 2015

[KliBA 2018] Energie-Monitoring der Jahre 2014 bis 2017 für die Wohngebäude im Passivhaus-Stadtteil Heidelberg-Bahnstadt, KliBA gGmbH Heidelberg 2018

[KliBA 2018b] 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 2018] Energiekennwerte 2018, Techem-Studie, Eschborn (https://www.techem.de/fileadmin/user_upload/epaper-EKW-2018_leseversion/#0)