

**Energie-Monitoring
der Jahre 2014 bis 2022
für den Passivhaus-Stadtteil
Heidelberg-Bahnstadt**

Erstellt durch:



Klimaschutz- und Energie-Beratungsagentur

Heidelberg – Rhein-Neckar-Kreis gGmbH

Wieblinger Weg 21

69123 Heidelberg

Bearbeitung: Dipl.-Phys. Walter Orlik

Heidelberg, im Dezember 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort.....	2
2	Fernwärme Wohngebäude	3
2.1	Energieverbrauch Fernwärme	3
2.2	Verfahren Minimalmonitoring.....	3
2.3	Auswertung Energieverbrauch	5
2.4	Vergleich mit anderen Datenquellen.....	12
2.5	Wärmekosten	15
2.6	Mittlerer Wärmepreis	16
3	Strom Wohngebäude.....	17
3.1	Energieverbrauch Strom	17
3.2	Vergleich mit anderen Datenquellen.....	22
4	Zentrale Ergebnisse für die Nichtwohngebäude	25
4.1	Endenergie Wärme gesamt.....	25
4.2	Wärmeleistung	25
4.3	Endenergie Strom	26
5	Gesamtbilanz	27
5.1	Entwicklungsstand und Vergleich mit Planungswerten	27
5.2	Primärenergie (PE).....	28
5.3	Klimaschutz (CO ₂ -Äquivalente)	29
5.4	Abweichende Flächenbezüge für Wohngebäude	31
6	Fazit.....	32
	Literatur	34

1 Vorwort

In der Bahnstadt entsteht das europaweit größte Passivhausgebiet 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 März 2023 wurden die Daten für die Jahre 2014 bis 2021 vorgestellt [KLiBA 2023], die im vorliegenden Bericht bis zum Jahr 2022 fortgeschrieben werden.

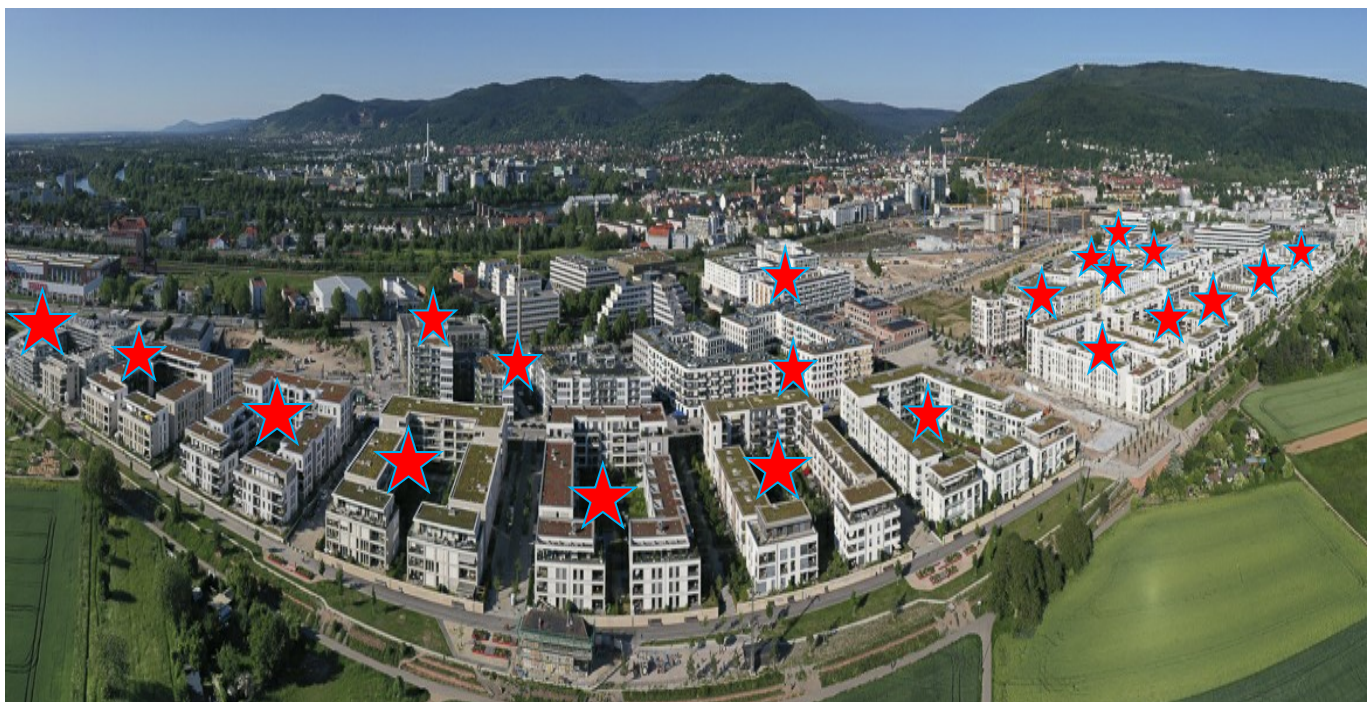
Zur Auswertung kommen 21 Baufelder mit überwiegender Wohnnutzung, wobei auch Gewerbeflächen einbezogen sind (meist Ladengeschäfte im Erdgeschoss). Die untersuchten Gebäude haben insgesamt 244.627 m² Energiebezugsfläche, 3.196 Wohneinheiten und 94 Gewerbeeinheiten. Im folgenden Luftbild sind die betroffenen 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 Gebäudeenergiegesetz (GEG) („A_N“), Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung (WoFIV) („WF“) und Netto-Raumfläche nach DIN 277 („NRF“) für den Vergleich mit anderen Statistiken,
- Gesamtbewertung der Primärenergie und der CO₂-Emissionen,
- Tabellarische und grafische Auswertung.

Der Bericht stellt erstmals auch die Verbrauchsdaten von 15 Nichtwohngebäuden näher vor.



2 Fernwärme Wohngebäude

2.1 Energieverbrauch Fernwärme

Die Erschließung der Bahnstadt erfolgt in Baufeldern, die jeweils einen oder maximal zwei Hauptwärmehemometer 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 Allgemeinflächen² (mit einem Abschlag von 40%) enthält. Diese Fläche ist typischerweise kleiner als die fiktive „Nutzfläche“ A_N nach GEG, die aus dem Bruttovolumen ermittelt wird.

Einzelne Baufelder waren nicht in jedem Jahr auswertbar wegen

- 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 die Anzahl der Wohnbaufelder, die im Bereich Wärme auswertbar waren, sowie verschiedene Rahmendaten dazu.

Jahr	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Baufelder	10	12	13	14	16	18	19	17	[Stück]
Energiebezugsfläche (EBF)	109.775	133.444	142.778	153.370	176.655	207.733	239.622	179.288	[m ²]
Wohneinheiten (WE)	1.619	2.047	2.151	2.268	2.519	2.785	3.085	2.526	[Stück]
Gewerbeeinheiten	19	23	31	31	46	66	91	46	[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 Hauptwärmehemometer 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

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:

² Nebenräume und Verkehrsflächen außerhalb von Wohnungen oder im Keller, sofern sie sich im beheizten Volumen befinden.

„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.

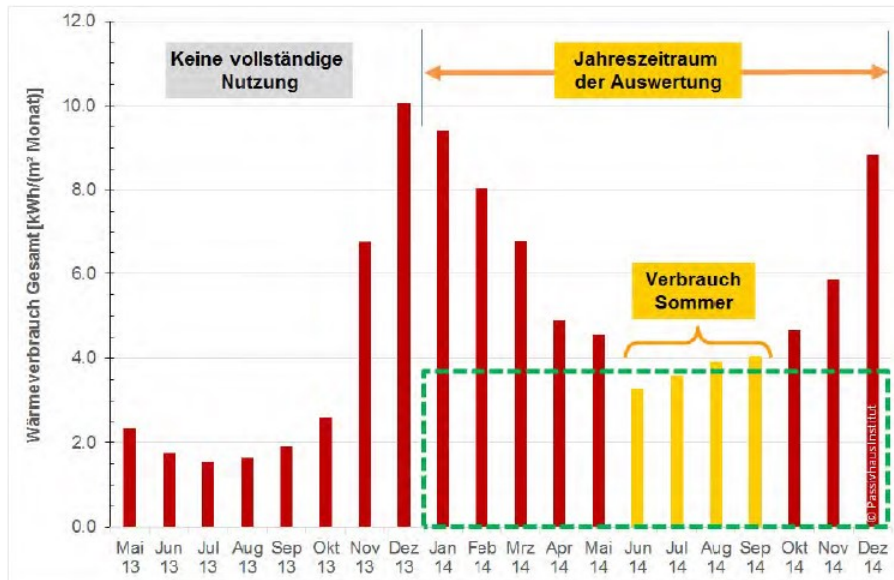


Abbildung 1: Bestimmung des Sockelverbrauchs, aus [PHI 2016]

„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 2,6 bis 3,1 kWh/(m²a), der in der zweiten Näherung ebenfalls abgezogen wird³.

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.

³ 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 2 stellt den Wert „Fernwärme gesamt“ dar, d.h. die Jahresarbeit am Hauptwärmemengenzähler. Dargestellt sind die Jahre 2014 bis 2022, soweit nutzbare Daten vorlagen (EE = Endenergie).

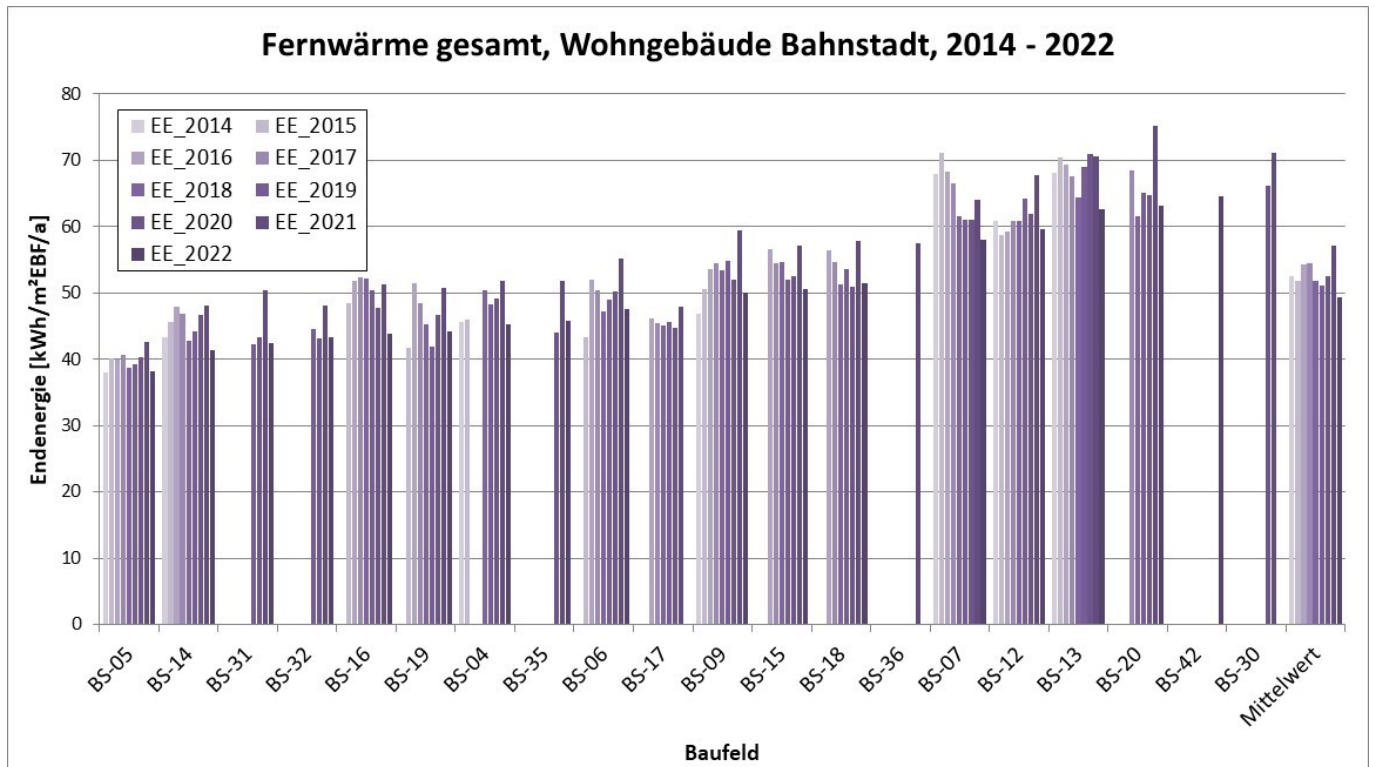


Abbildung 2: Fernwärme gesamt

Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2022. Es zeigt sich, dass die Werte eine große Spannweite zwischen 38,2 und 64,5 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. Dabei obliegt der energiesparende Betrieb der technischen Anlagen gemäß Gebäudeenergiegesetz dem Eigentümer bzw. dem beauftragten Betreiber (GEG §§ 58-60). Im Bericht [PHI 2021] finden sich nützliche Hinweise zur Betriebsoptimierung und Wärmeleistungsreduktion für Eigentümer, Nutzer und Verwaltungen. Das Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie der Stadt Heidelberg bietet hierzu Beratungsleistung an.

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. Im Jahr 2022 ist der Wert auf einem neuen Tiefstand; er lag bei 49,4 kWh/(m²a).

Aufteilung nach Sockel und Heizwärme

Abbildung 3 zeigt die Aufteilung nach der Methodik aus Abschnitt 2.2, soweit Daten vorlagen. Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Summenwert des Jahres 2022. Der Sockel trägt in der Größenordnung 2/3 des Verbrauchs, was der Analyse [PHI 2016] entspricht. Dabei gibt es auffällige „Ausreißer“ mit niedrigen (50%) und hohen (75%) Sockelanteilen.

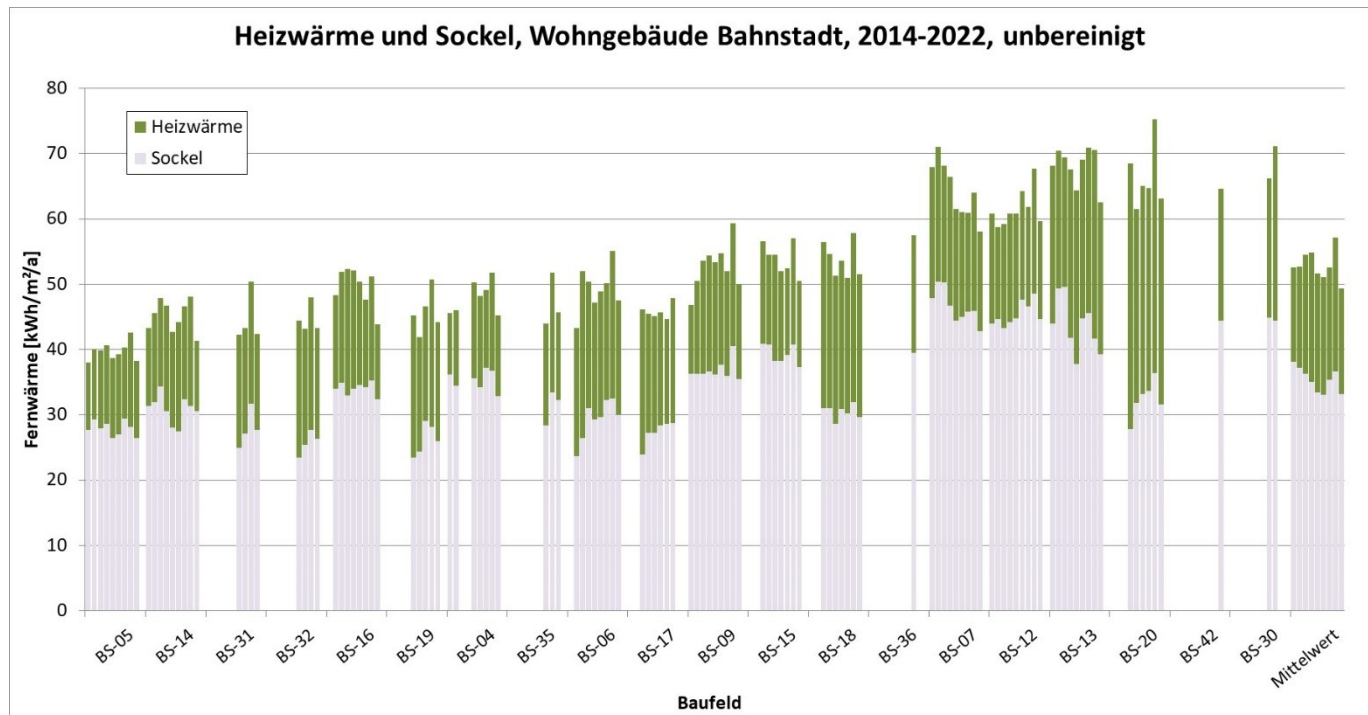


Abbildung 3: Heizwärme und Sockel

Die nachfolgenden Abschnitte diskutieren den Verlauf der beiden Anteile.

Heizwärme

Abbildung 4 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 in 2022 zwischen 10,8 und 31,4 kWh/(m²a) bei einem Mittelwert von 16,2 kWh/(m²a). Der Mittelwert ist in 2022 deutlich gesunken und liegt wieder nahe beim Kennwert von 15 kWh/(m²a). Die Ursachen können wie folgt diskutiert werden:

- Witterungseffekte. Die Baufelder haben in den vergangenen Jahren unterschiedlich auf die Witterung reagiert, z.B. in dem kalten Jahr 2016. Für die Gesamtbilanz der Bahnstadt ist aber anzunehmen, dass der warme Winter in 2022 entscheidend zur Senkung des Mittelwertes beiträgt. Siehe auch Abschnitt „Witterungsbereinigung“.
- Messungen in realisierten Gebäuden zeigen typische Innentemperaturen von 21,5 statt 20°C [PHI 2016], siehe auch Abschnitt „Witterungsbereinigung“.
- Änderung der Stichprobe. Neue Baufelder steigen im zweiten Jahr oft nochmals an, vermutlich wegen des fortlaufenden Bezugs. Wegen der Datenlücken ist dieser Effekt im Berichtsjahr jedoch nicht nachweisbar.

- „Trockenheizen“: Bei Neubauten in Massivbauweise wird manchmal berichtet, dass die Austrocknung von Putzen und Estrichen in der ersten Heizperiode erhöhte Verbrauchswerte verursacht. Wegen der Datenlücken ist dieser Effekt im Berichtsjahr jedoch nicht nachweisbar.

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 im Rahmen der Fehlergrenzen durchaus erfüllt hat. Die spannende Aufgabe ist im Grunde die Analyse des Sockelverbrauchs, siehe nächster Abschnitt.

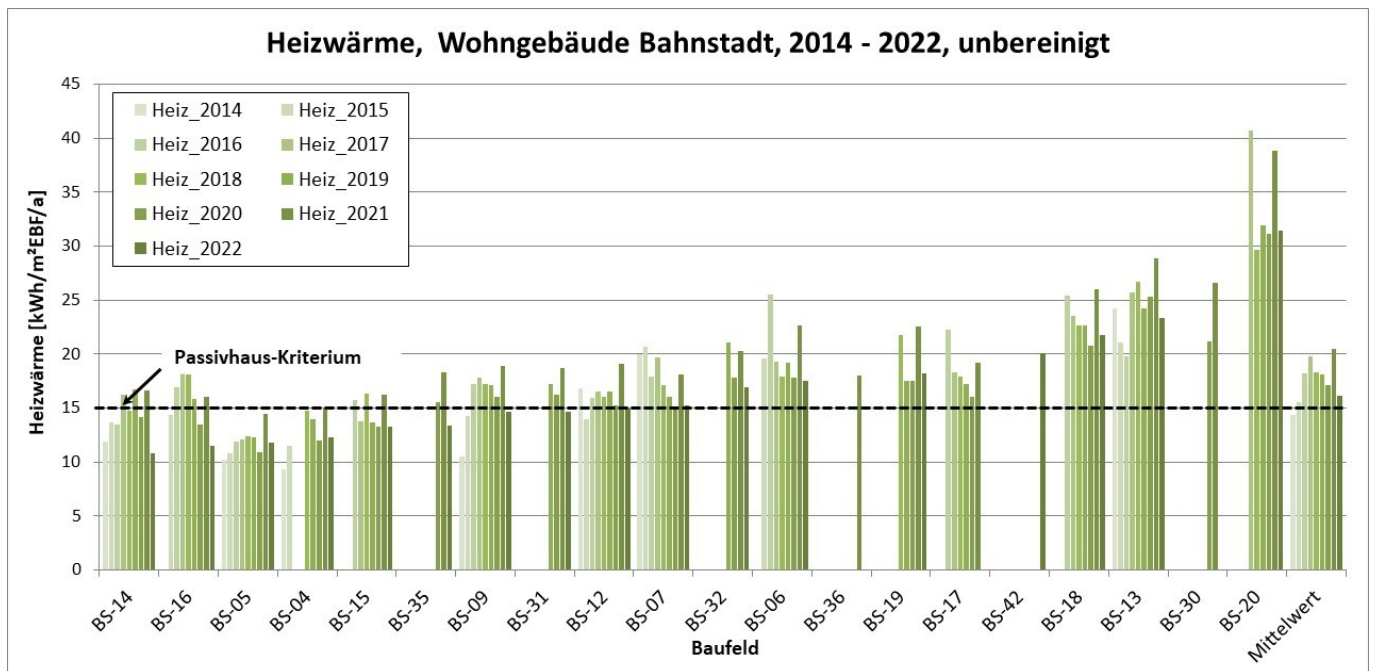


Abbildung 4: Heizwärme der Wohnbaufelder, unbereinigt, systematische Abweichung $\pm 4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Sockel

Abbildung 5 zeigt den Sockelverbrauch, soweit Daten vorlagen. Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2022. Der Mittelwert ist wieder auf das Niveau des Jahres 2019 gesunken; er lag in 2022 bei einem Wert von $33,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Auch hier gibt es eine große Spannweite zwischen $25,9$ und $44,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Sofern Daten über 9 Jahre vorliegen, ist die zeitliche Entwicklung sehr uneinheitlich. Während einzelne Baufelder konstant sind, zeigen andere eine deutliche Steigerung oder starke Schwankungen.

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 (BS-16).

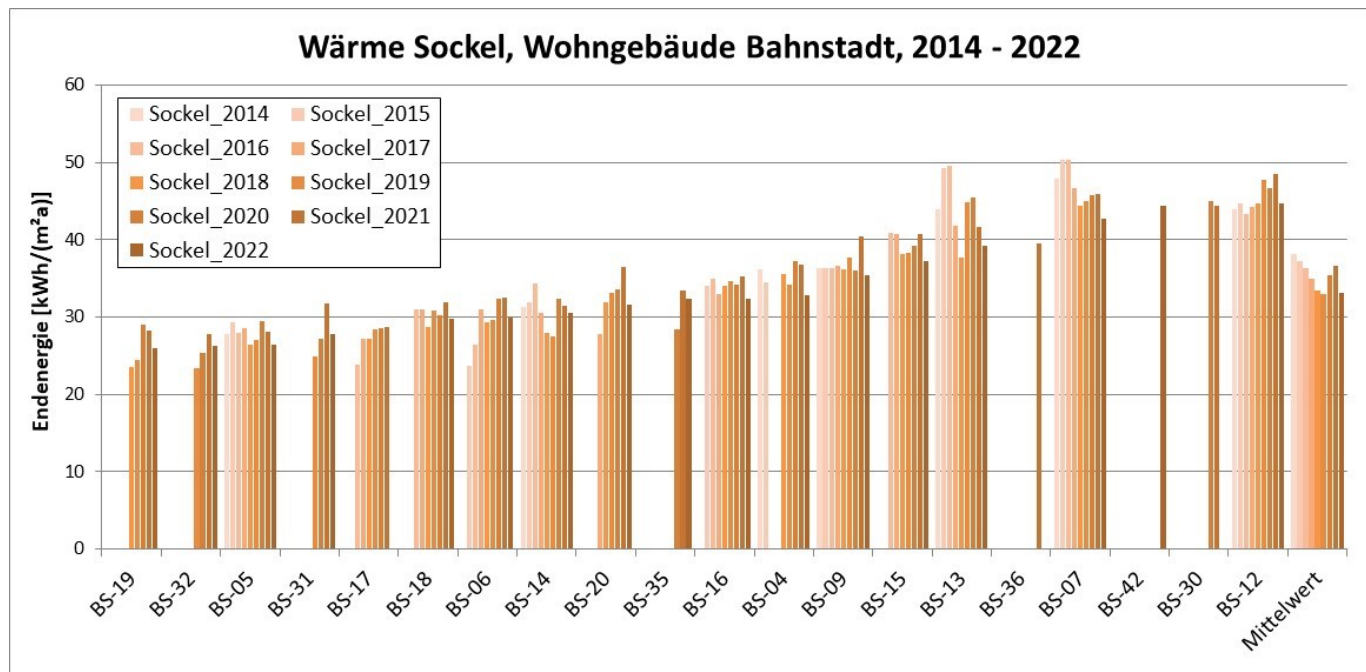


Abbildung 5: Sockel Wärme

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 dem GEG 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 seitdem aber nicht mehr 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 in Abbildung 6.

Die Ermittlung der entsprechenden Gradtagszahlen erfolgt über das PHPP-Blatt „Witterung“ mit Hilfe der Monats-Mitteltemperaturen des Deutschen Wetterdienstes⁴. 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 Korrekturfaktor⁵ 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
2018	1,23	1,21
2019	1,14	1,17
2020	1,24	1,21
2021	1,02	1,03
2022	1,25	1,27

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

Abbildung 6 zeigt das Ergebnis. Demnach liegen die Mittelwerte seit 2017 knapp über 20 kWh/(m²a). Dies ist primär ein Effekt der Stichprobe, da die neueren Baufelder oftmals höhere Kennwerte haben.

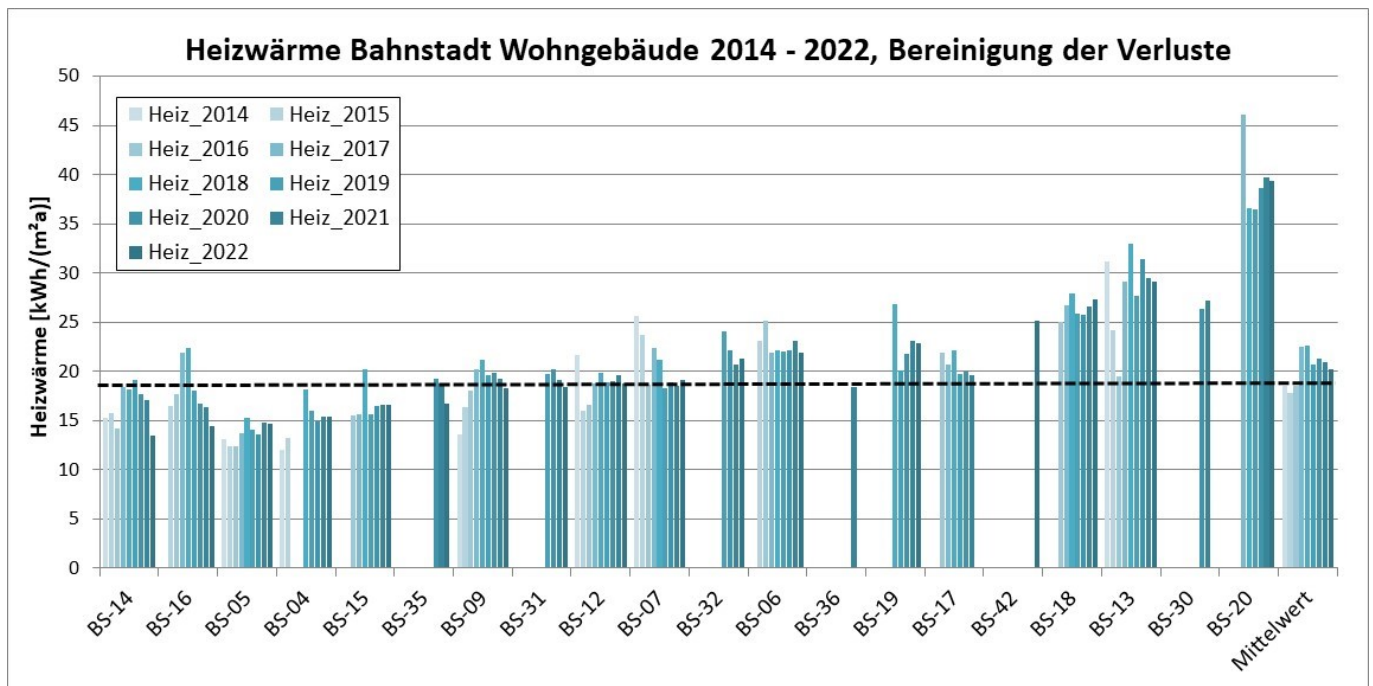


Abbildung 6: Heizwärme der Wohnbaufelder, Verluste witterungsbereinigt, systemat. Abweichung ± 4 kWh/(m²a)

Leistungsbezug und abgerechnete Leistung

Die Wärmemengenzähler erlauben es in der Regel, auch Leistungsdaten (Monatsspitzen) auszulesen. Die höchste bezogene Wärmeleistung der Jahre 2014-2022 wird in Abbildung 7 bezogen auf die EBF dargestellt. Sie variiert zwischen 12,1 und 31,5 W/m² bei einem Mittelwert von 20,0 W/m².

⁴ Die Station Heidelberg ist seit 2012 geschlossen, so dass Daten der Station Mannheim verwendet werden.

⁵ Der Verbrauchswert wird mit dem Korrekturfaktor multipliziert, um den witterungskorrigierten Wert zu erhalten.

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 $34,7 \text{ W/m}^2$ den tatsächlichen Bedarf um 74%. In diesem Zusammenhang sind folgende Aspekte zu diskutieren:

- 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/m^2 ,
 - davon Heizleistung 10 W/m^2 und Warmwasser-Leistung 14 bis 18 W/m^2 .In der Tat überschreiten die Messwerte der Bahnstadt diese Ansätze nicht. Manche Baufelder haben sogar einen gemessenen Leistungsbedarf von unter 15 W/m^2 , 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.
- In zwei Baufeldern wurden durch das Passivhaus-Institut genauere Messungen durchgeführt [PHI 2021]. Es ergibt sich, dass eine nominelle Anschlussleistung von 35 W/m^2 bei den gegebenen Netzparametern in der Bahnstadt im Regelfall ausreichen sollte. Diese Grenze ist in der Grafik mit einer gestrichelten Linie markiert.

In drei Baufeldern wurde die Übergabestation unterdessen bereits gedrosselt. Schon unter der vorsichtigen Maßgabe des vorigen Absatzes (maximal 35 W/m^2 Anschlussleistung) könnte die Vertragsleistung in den 5 betroffenen Wohnbaufeldern um insgesamt um 823 kW gesenkt werden, wobei Kosteneinsparungen von rund 42.900 € (netto) pro Jahr entstünden.

Somit sind im Bestand weitere Anpassungen zu empfehlen, und auch für zukünftige Bauvorhaben kann diese Erkenntnis genutzt werden, um Investitions- und Betriebskosten zu sparen.

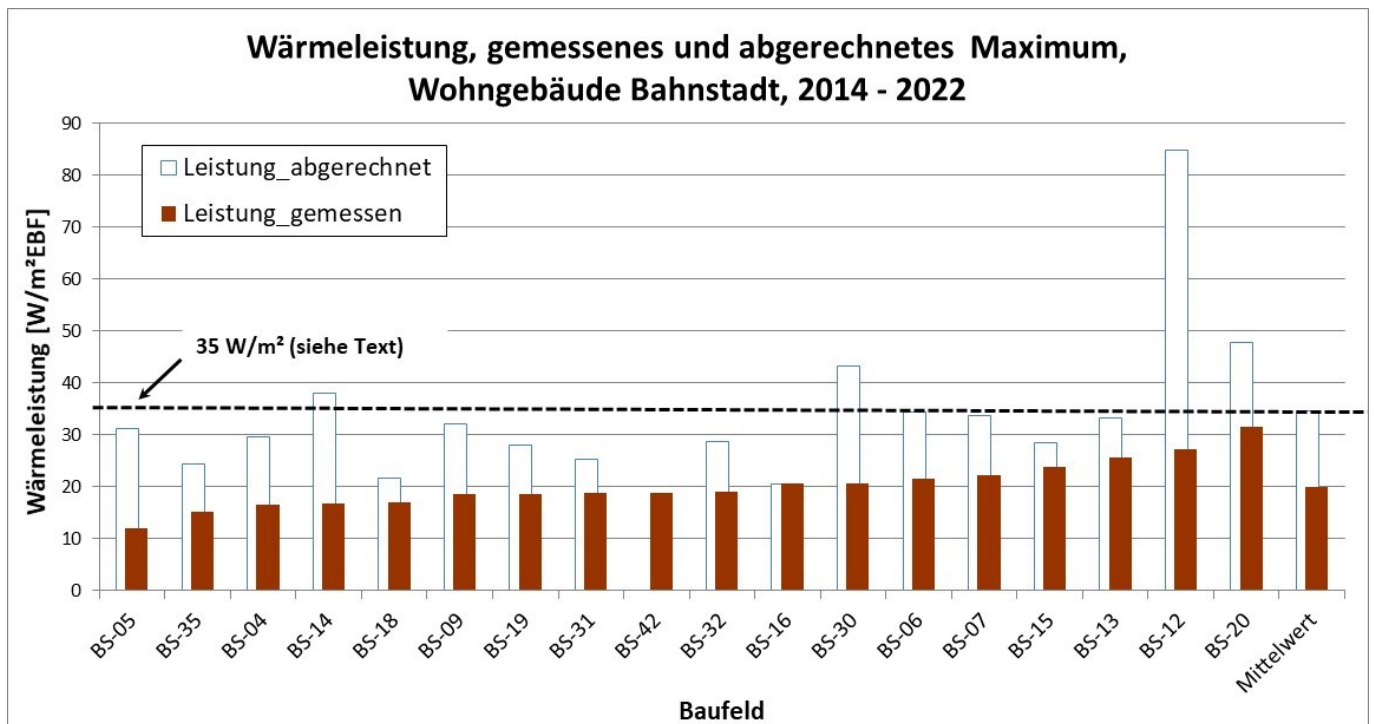
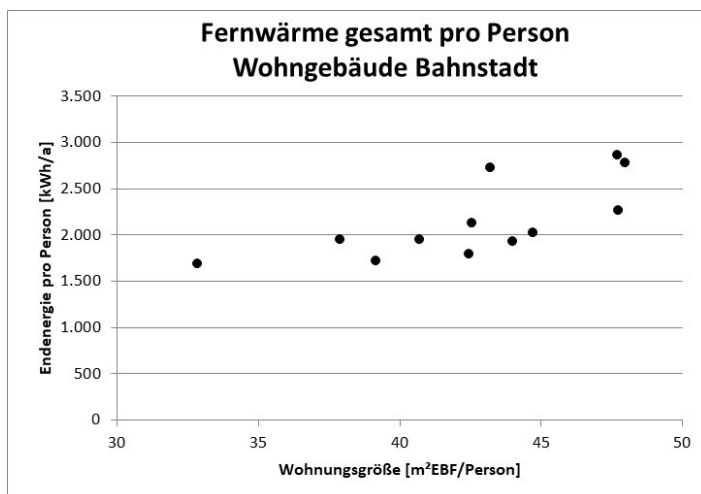


Abbildung 7: Wärmeleistung, Wohngebäude

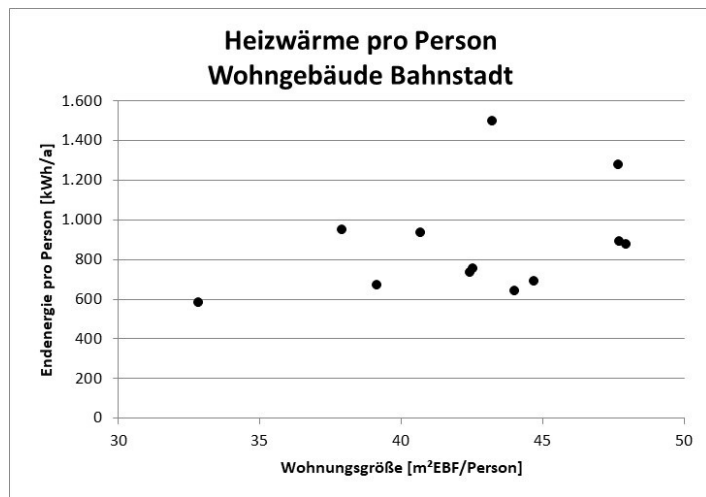
Personenzahlen

Beim Amt für Statistik liegen Personenzahlen für die Wohnbaufelder vor, wobei die neuesten Werte das Jahr 2022 betreffen (5.777 Bewohner zum Stichtag 31.12.2022). Der Bezug auf die Personenzahl könnte neben dem Flächenbezug weitere Aspekte zum Verständnis der Verbrauchswerte liefern.

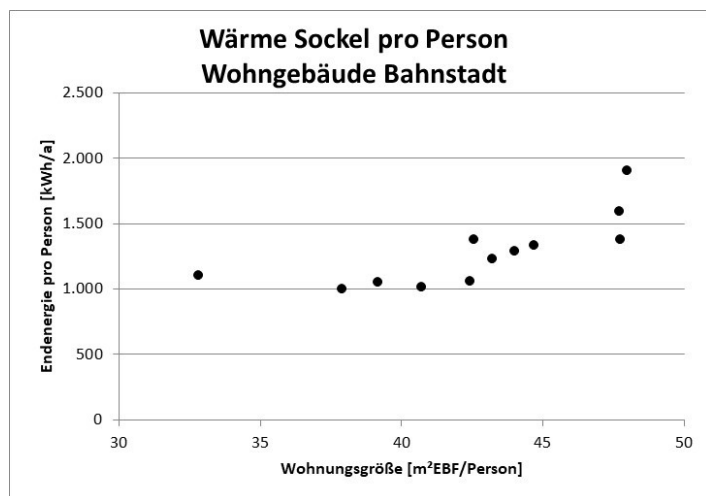
Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse für Gesamtwert, Sockel und Heizwärme, aufgetragen über die Wohnungsgröße ($m^2_{EBF}/Person$). Die dargestellten Einheiten sind hier nicht Baufelder, sondern Baublöcke, welche z.T. mehrere Baufelder enthalten.



Mittelwert 2.228 kWh/Person/Jahr



Mittelwert 895 kWh/Person/Jahr



Mittelwert 1.333 kWh/Person/Jahr

Abbildung 8: Wärme 2022 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 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 $21,6 \text{ kWh(H}_i\text{)/m}^2_{\text{BGF/a}}$. Die entsprechenden Daten der Bahnstadt (Kategorie „EE“) sind als orangene Quadrate darübergelegt⁶.

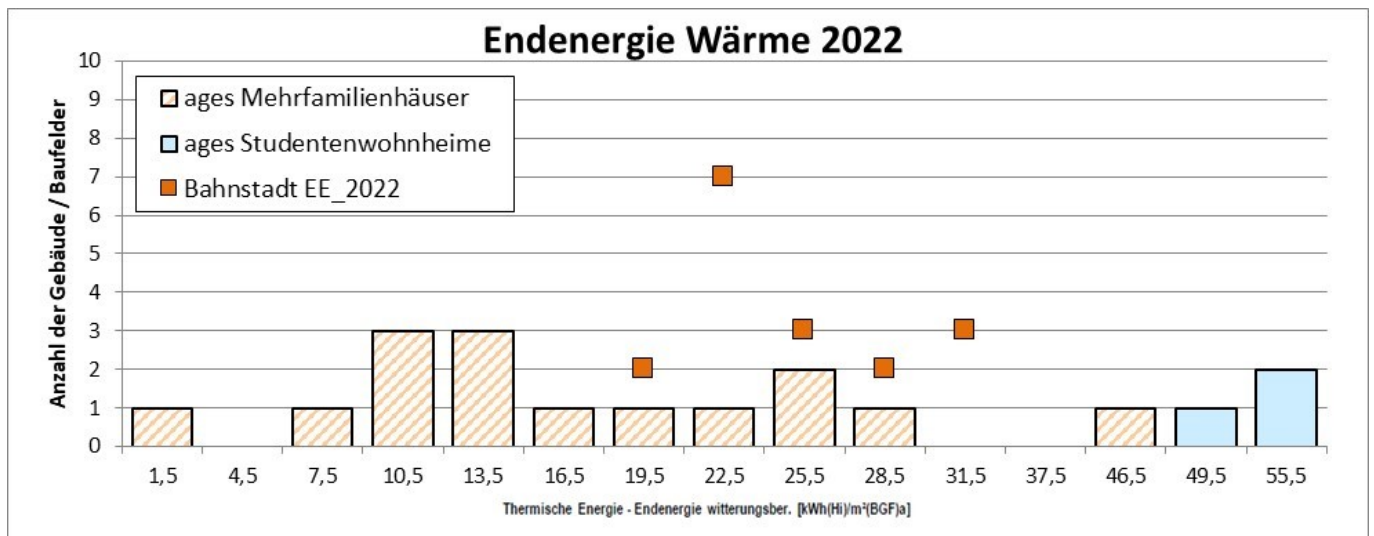
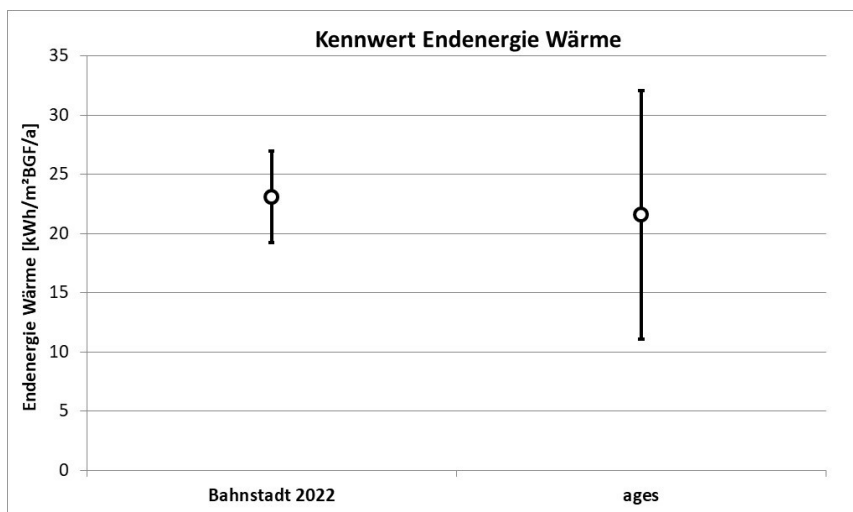


Abbildung 9: Wärmeverbrauch – Häufigkeitsverteilung (in Anlehnung an [ages 2015], Grafik 22)

Zur Verdeutlichung sind die Mittelwerte und Standardabweichungen⁷ in Abbildung 10 nochmals dargestellt. Folgende Aussagen ergeben sich:

- Die Gebäude der Bahnstadt liegen mit einem Mittel von $23,1 \text{ kWh(H}_i\text{)/m}^2_{\text{BGF/a}}$ 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 über $40 \text{ kWh(H}_i\text{)/m}^2_{\text{BGF/a}}$ in der Bahnstadt nicht vor.

Zusammengenommen sind die Werte der Bahnstadt in diesem Vergleich unauffällig.



⁶ Zur Vergleichbarkeit erfolgt eine Flächenumrechnung mit dem Faktor für Mehrfamilienhäuser $\text{BGF/bWF} = 2,139$ ([ages 2015] Abschnitt 8.7; bWF = beheizte Wohnfläche \approx EBF).

⁷ Statistischer Fehler (korrigierte Stichprobenvarianz)

Abbildung 10: Kennwert Endenergie Wärme – Mittelwert und Standardabweichung

Gesamtgebäude – Vergleich mit dem Heidelberger Durchschnitt

Aus dem kommunalen Wärmeplan [ifeu 2023] lassen sich für die Gesamtstadt folgende Daten herauslesen⁸:

- Endenergie Wärme private Haushalte: 866.742 MWh/a
- Wohnfläche: 6.025.635 m²
- Einwohnerzahl: 145.512

Zum Ersten ergibt sich daraus ein mittlerer Kennwert von 143,8 kWh/m²_{WF}/a.

Der Vergleichswert aus der Bahnstadt wäre „Fernwärme gesamt“ von Seite 5 in der Höhe von 49,4 kWh/m²_{EBF}/a. Auch wenn die Bezugsflächen nicht genau gleich sind (siehe Abschnitt 5.4) und verschiedene Energieträger im Spiel sind, wird deutlich, dass das Durchschnitts-Gebäude in Heidelberg einen 2,5- bis 3-mal höheren Kennwert aufweist als ein Bahnstadt-Gebäude.

Zum Zweiten beträgt die Endenergie pro Kopf für die Gesamtstadt 5.956 kWh; der Wert der Bahnstadt beträgt nach Seite 11 nur 2.228 kWh und somit nur 37% des Durchschnitts.

Gesamtgebäude – Vergleich mit dem regionalen Durchschnitt

Die Heizkosten-Abrechnungsfirmen veröffentlichen regelmäßig Daten über den von ihnen betreuten Gebäudebestand. Die folgende Abbildung 11 aus [Techem 2022] zeigt die Häufigkeitsverteilung von Abrechnungseinheiten (AE) in der Postleitzzone 6 für fernwärmeversorgte Gebäude mit verbundenen Anlagen (d.h. incl. Warmwasserbereitung).

Der Pfeil deutet die Lage der Bahnstadt-Objekte an, deren Kennwerte⁹ lt. Abbildung 2 zwischen 38,2 und 64,5 kWh/m²_{EBF}/a liegen. In der Häufigkeitsverteilung der Techem hat nur jeder achte (12,2%) der großen Wohnblocks (mehr als 12 Nutzeinheiten (NE)) so gute Verbrauchswerte.

Verbrauchs- bereich kWh/m ²	Anzahl Wohnungen je Abrechnungseinheit NE/AE								Gesamt	
	2		3–6		7–12		> 12		absolut	in %
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
< 50	1	0,10	2	0,20	4	0,30	8	0,60		
50–80	7	0,60	45	3,60	73	5,80	146	11,60		
80–120	7	0,60	117	9,30	157	12,40	314	24,90	598	47,15
120–160	11	0,90	78	6,20	54	4,30	136	10,80	279	22,11
160–200	4	0,30	22	1,70	27	2,10	29	2,30	82	6,50
200–240	2	0,20	5	0,40	4	0,30	5	0,40	16	1,27
240–280	0	0,00	0	0,00	1	0,10	1	0,10	2	0,16
320–560	1	0,10	1	0,10	0	0,00	0	0,00	2	0,16
Gesamt	33	2,60	270	21,40	320	25,40	639	50,60	1262	100,00

Abbildung 11: Energieverbrauchsbereiche für Heizung und Warmwasser (Fernwärme in kWh) nach Postleitzonen und Deutschland, Kalenderjahr, Bezug auf Wohnfläche, aus [Techem 2022], S. 117

⁸ Referenzjahr 2020. Die Bahnstadt ist jeweils enthalten.

⁹ Bezugsjahr 2022. 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 5.4, Seite 29).

Der mittlere Kennwert für fernwärmeversorgte Objekte liegt nach der gleichen Studie, S. 130, für große Wohngebäude in der Postleitzone 6 bei etwa 100 kWh/m²/a, und also beim Doppelten der Bahnstadt.

Die besten Baufelder der Bahnstadt zeigen, dass Kennwerte von unter 45 kWh/m²/a möglich sind (BS-05, BS-14, BS-31, BS-32, BS-16, BS-19). Diese Qualität kann womöglich durch eine kontinuierliche Überprüfung von technischen Anlagen und Einstellparametern (Reduktion des „Sockels“) auch für die anderen Baufelder erschlossen werden.

Energieverbrauch für die Trinkwassererwärmung – Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt

Die Quelle [Techem 2022] aus dem vorigen Abschnitt enthält auch eine Analyse zum Energieverbrauch für die Trinkwassererwärmung. Das Ergebnis ist in Abbildung 12 wiedergegeben: Der Mittelwert für Objekte mit Fernwärmeversorgung liegt bei 28,5 kWh/m²_{WF}/a.

Der Vergleichswert „Sockel“ der Bahnstadt (Abschnitt 2.3, Seite 7) liegt bei 33,2 kWh/m²_{EBF}/a. Dabei sind zusätzlich auch die Verluste der Mininetze enthalten, was den hier etwas höheren Wert erklären könnte.

Übrigens werden die Verteilverluste auch in der Techem-Studie thematisiert. Dort heißt es: „Die berechneten Nutzungsgrade der Trinkwasserzirkulation liegen bei Fernwärme (...) niedriger als bei Erdgas, Heizöl, Holz. (...) Fernwärmeanlagen sind in der Tendenz größere Liegenschaften mit hoher Anzahl von Nutzeinheiten und großem Verteilnetz, was zu längeren Zirkulationszeiten und somit zu höheren Verlusten führt.“

Energieträger	Fernwärme	Erdgas	Heizöl	Strom (Wärmepumpen)	Holz
Energieverbrauch für WW pro Wohnfläche [kWh/m ²]	28,5	30,4	30,9	9,6	22,9
Energieverbrauch für WW pro Kubikmeter Trinkwasser [kWh/m ³]	122,4	131,6	145,7	42,4	107,7
Energieverbrauch für Raumheizung und WW pro Wohnfläche [kWh/m ²]	92,6	123,5	131,0	33,3	96,1
Energieanteil für WW	30,7 %	24,6 %	23,6 %	28,9 %	23,9 %
Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung	100,0 %	75,2 %	71,6 %	277,9 %	92,3 %
Nutzungsgrad der Trinkwasserzirkulation	47,5 %	58,8 %	55,8 %	49,4 %	58,5 %
Nutzungsgrad Gesamt	47,5 %	44,2 %	39,9 %	137,3 %	54,0 %

Abbildung 12: Mittelwerte für die Trinkwassererwärmung im Bundesdurchschnitt, Bezug auf Wohnfläche, aus [Techem 2022], S. 35

2.5 Wärmekosten

Die Wärmekosten setzen sich aus Arbeitskosten und Leistungskosten zusammen. Im Folgenden werden die Fernwärmepreise der Stadtwerke Heidelberg¹⁰ zugrunde gelegt.

Für das Berichtsjahr 2022 ergeben sich die Wärmekosten je nach Baufeld zu 6,1 bis 11,6 €/m² (brutto und bezogen auf die EBF); der Mittelwert liegt bei 7,5 €/m².

Die reinen Heizkosten (d.h. ohne Sockel, jedoch mit anteiligen Leistungskosten) liegen im Schnitt bei 3,1 €/m², wobei die Spannweite 2,3 bis 6,1 €/m² beträgt.

2.6 Mittlerer Wärmepreis

Durch Bezug der Wärmekosten aus Abschnitt 2.5 auf die bezogene Wärmemenge kann ein mittlerer Wärmepreis errechnet werden. Die Ergebnisse für das Jahr 2022 sind in Abbildung 13 dargestellt¹⁰.

Die Ist-Werte liegen zwischen 13,8 und 19,4 Ct/kWh (brutto), im Mittel bei 15,3 Ct/kWh, wobei die höheren Werte in der Regel durch unnötig hohe Leistungskosten zustande kommen (siehe Abschnitt „Leistungsbezug“ auf Seite 9). Im Hintergrund sind die Werte angedeutet, die bei einer Anpassung der Vertragsleistung auf den Messwert erzielbar wären; diese liegen im Durchschnitt¹¹ bei 13,3 Ct/kWh.

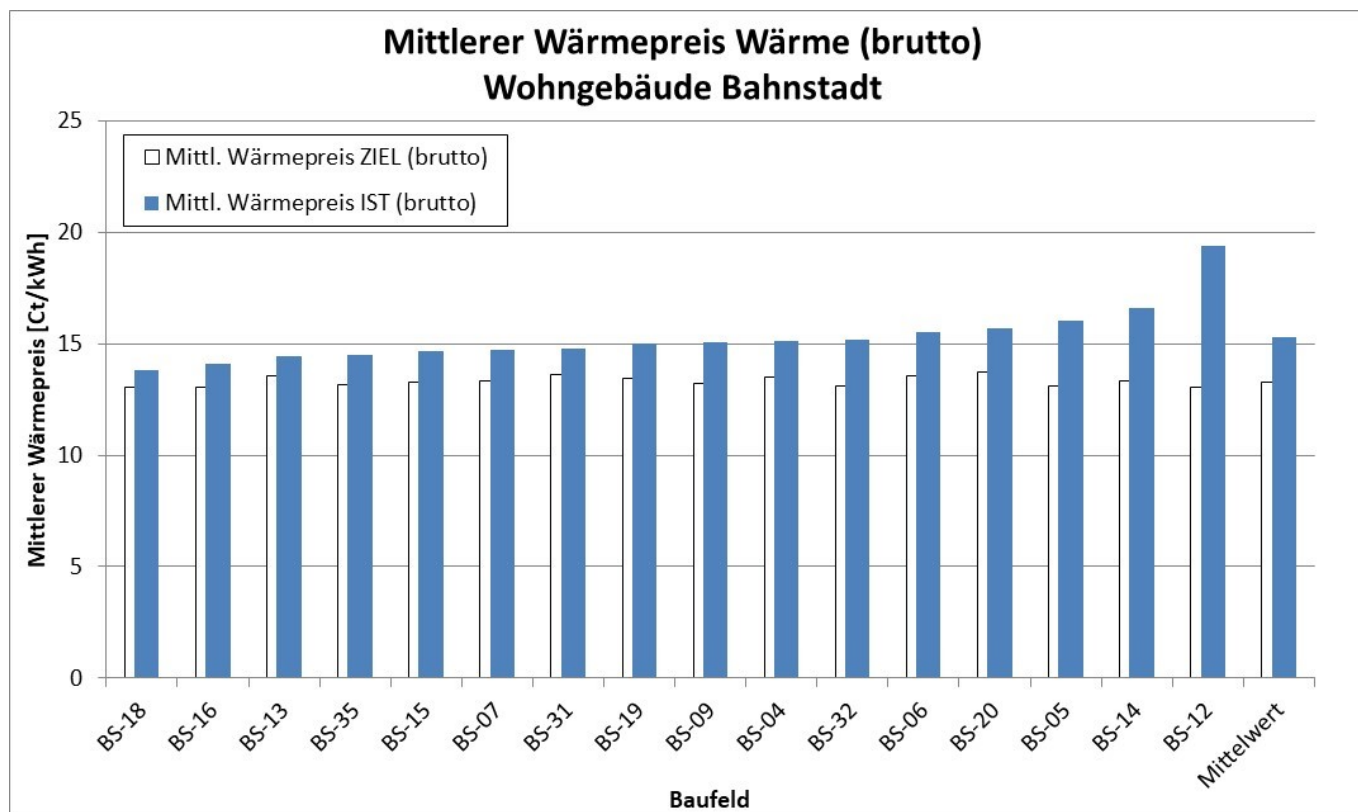


Abbildung 13: Mittlerer Wärmepreis, Bezugsjahr 2022

¹⁰ Zugrunde gelegt sind die Brutto-Preise des Vertrags „heidelberg WÄRME“ mit Arbeitspreis 11,49 Ct/kWh und Leistungspreis 55,76 €/kW/a, Stand 01.01.2023

¹¹ sofern auswertbare Messdaten vorliegen

3 Strom Wohngebäude

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

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 GEG, die aus dem Bruttovolumen ermittelt wird.

Im Jahr 2022 konnten 19 Baufelder ausgewertet werden. Es wurden nur Baufelder berücksichtigt, in denen der Bezug bereits im Vorjahr begonnen hat.

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der Wohnbaufelder, die im Bereich Strom auswertbar waren, sowie verschiedene Rahmendaten dazu.

Jahr	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Baufelder	9	13	14	14	16	18	19	19	[Stück]
Energiebezugsfläche (EBF)	103.758	144.036	153.370	153.370	176.655	207.733	231.423	205.571	[m ²]
Wohneinheiten (WE)	1.381	2.164	2.268	2.268	2.519	2.785	3.085	2.839	[Stück]
Gewerbeneinheiten	19	23	31	31	46	66	89	59	[Stück]

Tabelle 3: Übersicht der Baufelder Strom

Strom gesamt

Die folgende Abbildung 14 stellt die gesamte Stromabnahme des Baufeldes dar, wobei die Tiefgaragen inbegriffen sind. Die Daten enthalten auch die Gewerbeeinheiten. Dargestellt sind 8 Jahre, nämlich 2015 bis 2022 („Geb“ = „Nutz“ + „Allg“).

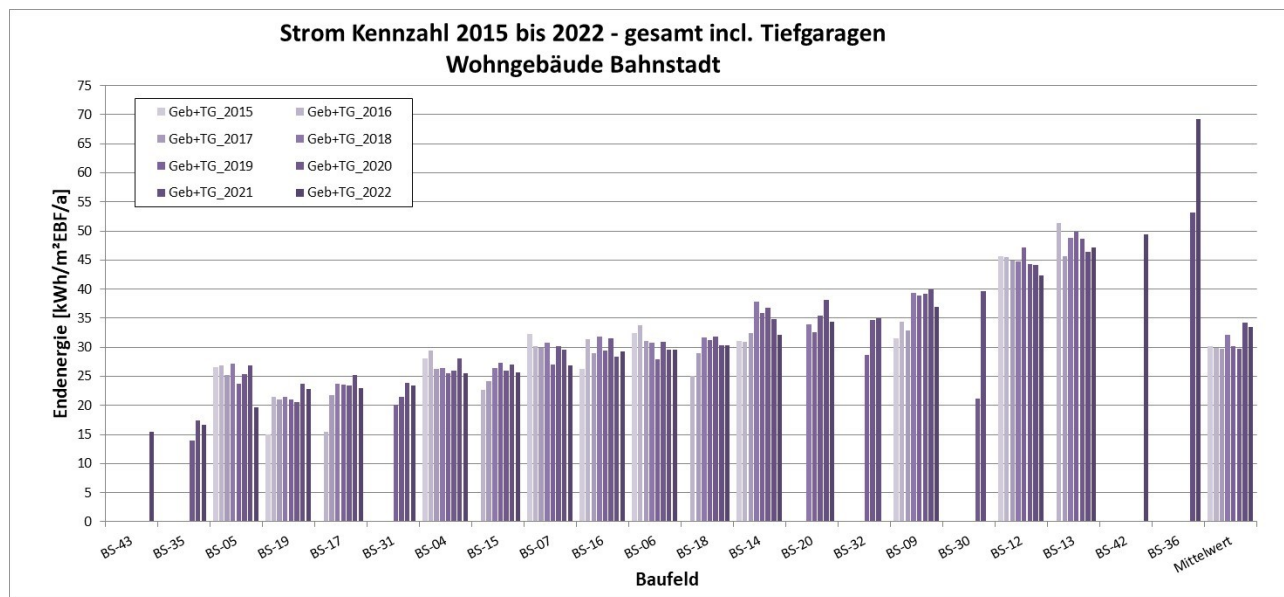


Abbildung 14: Strom gesamt incl. Tiefgaragen

Die Daten sind aufsteigend geordnet nach dem Wert des Jahres 2022. Es zeigt sich, dass die Werte eine große Spannweite zwischen 15,5 und 69,2 kWh/(m²a) aufweisen. Besonders hohe Werte treten einerseits in den Appartementshäusern auf, andererseits aber auch bei einen hohen Gewerbeanteil.

Die Kategorie ganz rechts zeigt den Mittelwert aller Baufelder; dieser ändert sich einerseits durch Nutzereinflüsse, andererseits aber auch durch die Stichprobe. Im Jahr 2022 liegt er nahezu unverändert bei 33,6 kWh/(m²a).

In Abbildung 15 ist der Anteil der Tiefgaragen abgezogen, soweit nutzbare Daten vorlagen. Diese Daten dienen zum Vergleich mit anderen Datenquellen, siehe Abschnitt 3.2.

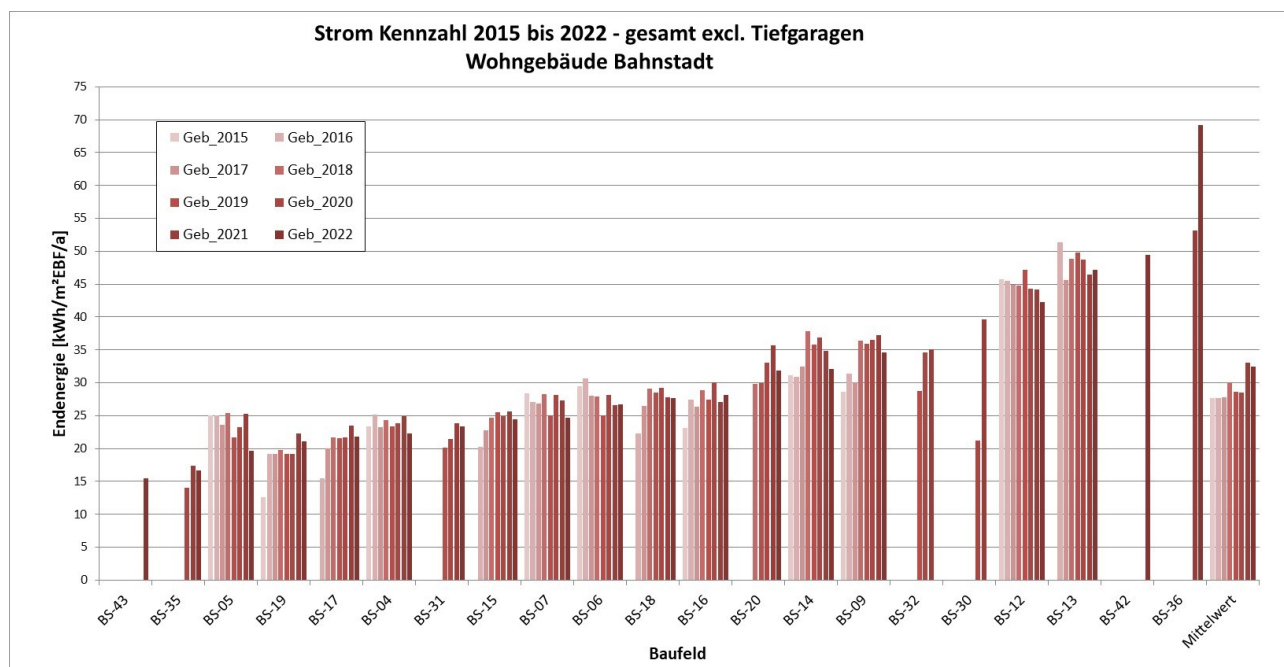


Abbildung 15: Strom gesamt excl. Tiefgaragen

In Abbildung 16 sind die Daten aus Abbildung 14 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.

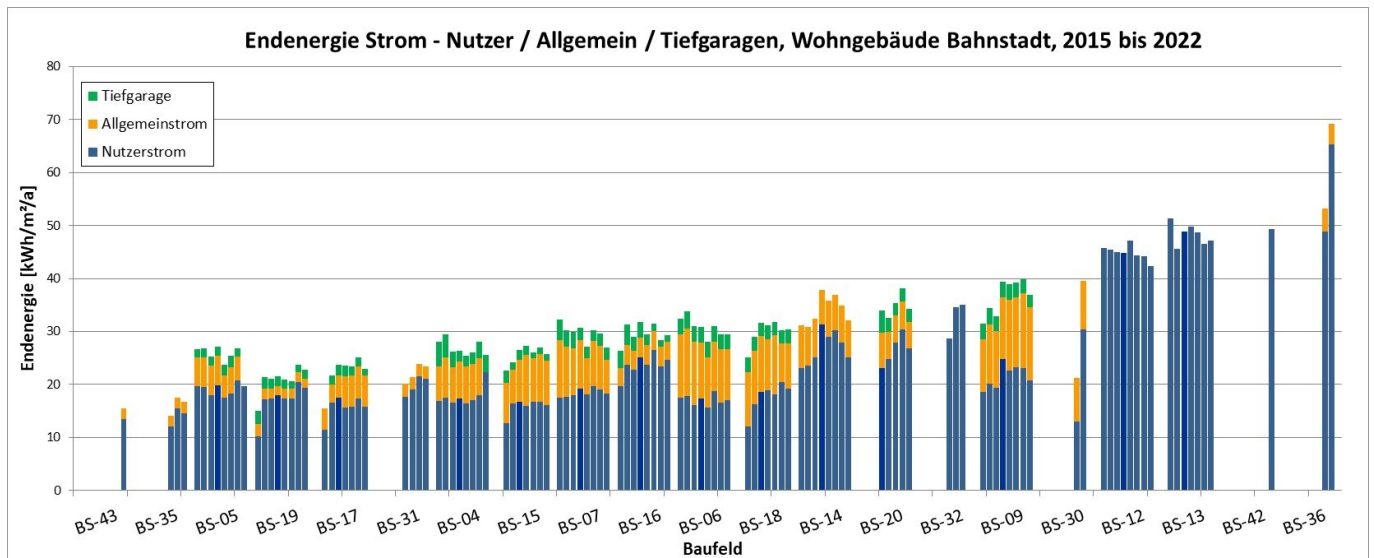


Abbildung 16: Strom gesamt - aufgetrennt

Nutzerstrom und Allgemeinstrom

Abbildung 17 zeigt die Anteile der Nutzer, sofern diese identifiziert werden können. Die Streuung der Werte liegt zwischen 13,4 und 65,4 kWh/(m²a), was die unterschiedliche Intensität der Nutzung wieder spiegelt (z.T. Studentenappartements, z.T. Gewerbe, ...). Weiterhin zeigt sich in vielen 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. Es ergibt sich ein Mittelwert von 25,7 kWh/(m²a).

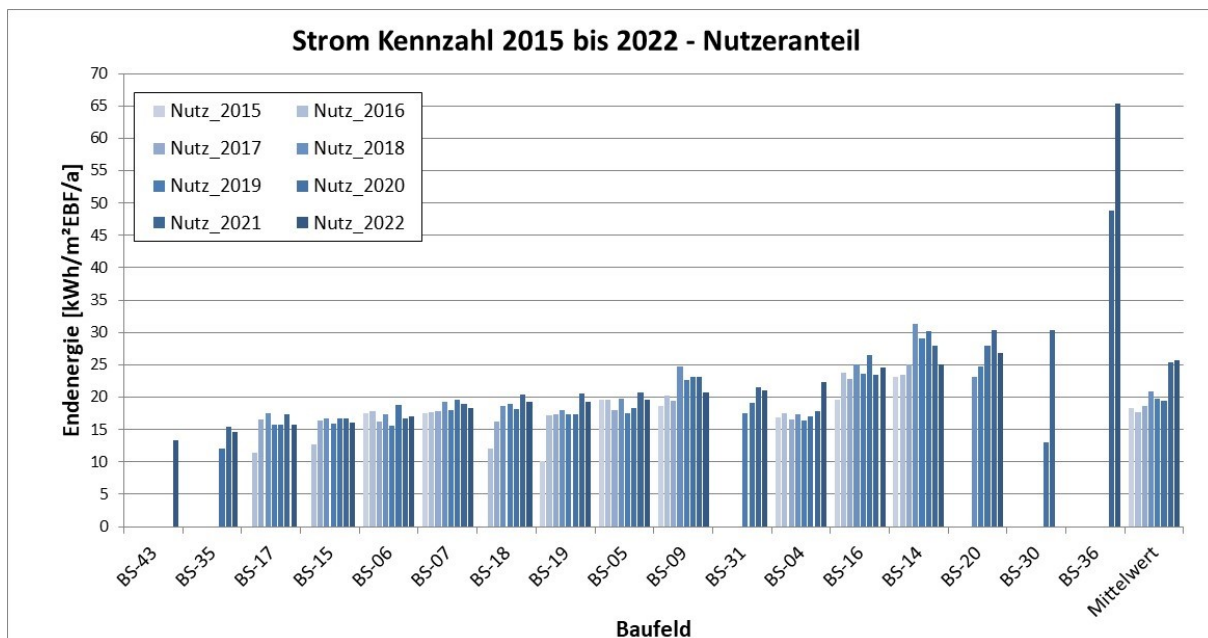


Abbildung 17: Strom Nutzer

Für 15 Baufelder kann entsprechend auch der Mittelwert des Allgemeinstroms ermittelt werden (orangene Anteile in Abbildung 16). Er ergibt sich zu 5,9 kWh/(m²a) bei einer Bandbreite zwischen 1,8 und 14,0 kWh/(m²a) und macht im Schnitt einen Anteil von 19% des Gesamtwertes aus.

Interessant ist der Einfluss Lüftungskonzepts (zentral / dezentral). Eine Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 18 gegeben, wobei die Baufelder entsprechend für jedes Jahr gemittelt sind (8 zentrale und 9 dezentrale Konzepte).

Bei zentralen Anlagen liegt der Allgemeinstrom rund $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ höher. Dies liegt im Bereich des erwarteten Lüfterstroms: Eine einfache Abschätzung¹² führt auf rund $4 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$. Direkte Messwerte für den Lüfterstrom liegen für zwei Baufelder aus Zählerdaten vor, sie sind aber mit anderen Nutzungsbereichen vermischt und nicht ohne Weiteres auswertbar.

In der vorliegenden Stichprobe führt dieser Umstand nicht in jedem Jahr dazu, dass der Nutzerstrom auch entsprechend niedriger liegt. Eine weitere Analyse ist bei der gegebenen Datenlage nicht möglich.

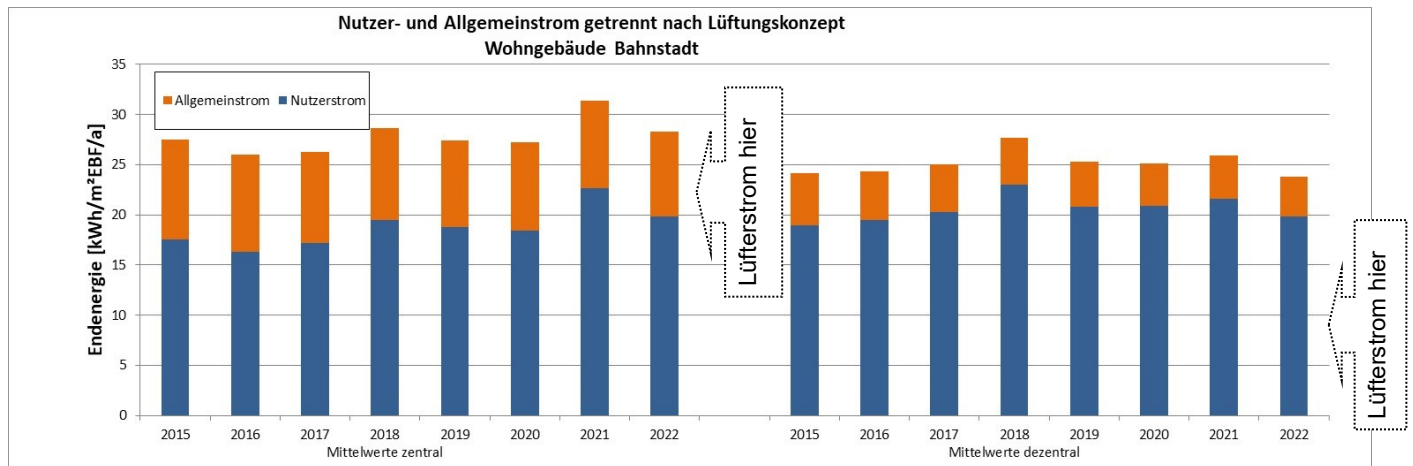


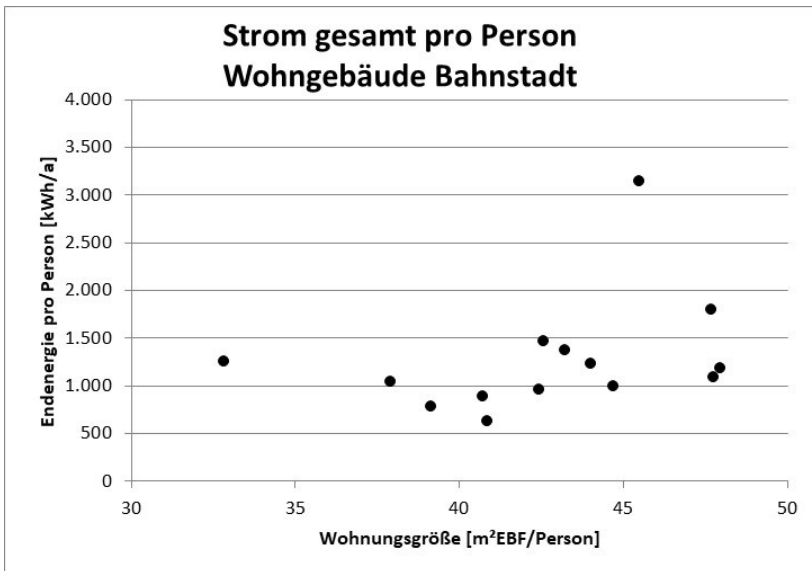
Abbildung 18: Mittelwerte der Baufelder mit zentralem / dezentralen Lüftungskonzept

Personenbezug

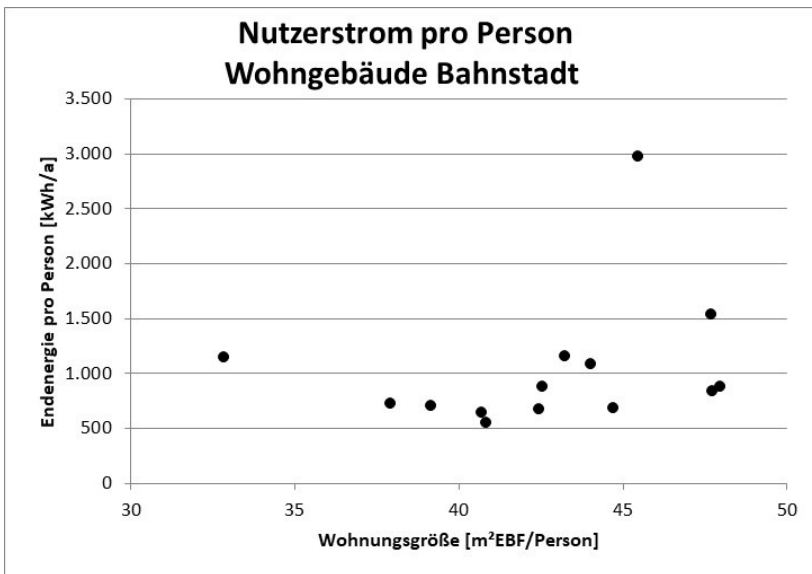
Analog zur Wärme (siehe Seite 11) kann auch hier eine Auswertung auf die Personenzahl (Bewohner zum 31.12.2022) erfolgen. Dabei wird wiederum unterschieden zwischen der Gesamtmenge (excl. Tiefgarage und Außenanlagen, incl. Gewerbe), Allgemeinstrom und Nutzerstrom.

Die Ergebnisse zeigen die Grafiken in Abbildung 19. Es zeigt sich, dass der Gesamtwert – abgesehen von „Ausreißern“ mit hohem Gewerbeanteil – mit recht geringer Streuung bei $1.200 \text{ kWh/Person/a}$ liegt. Nach Abzug des Allgemeinstroms ergibt sich der Nutzerstrom zu 900 bis $1.000 \text{ kWh/Person/a}$, wiederum abgesehen von den „Ausreißern“. Einen tendenziell höheren Verbrauch haben Bewohner in besonders kleinen Wohnungen (Studentenappartements).

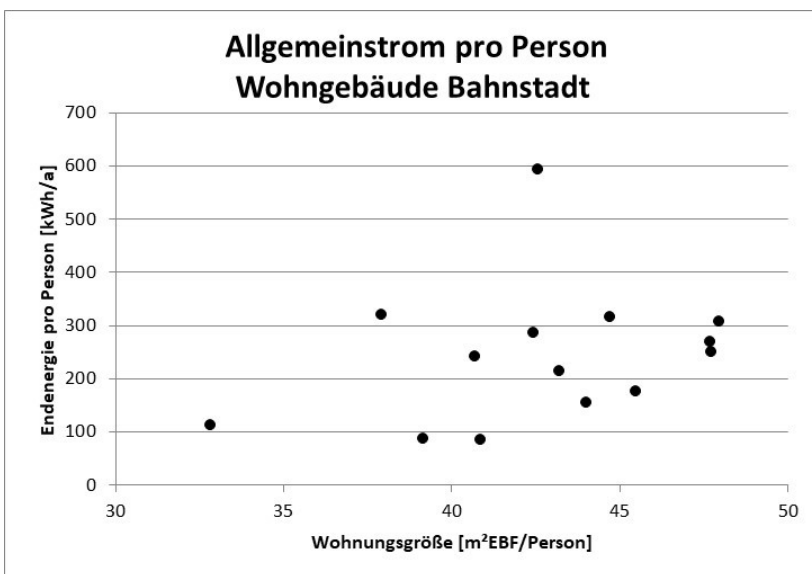
¹² Für 1 m^2 EBF ergibt sich bei einer Raumhöhe von $2,55 \text{ m}$ ein Luftvolumen von $2,55 \text{ m}^3$. Weiterhin kann angesetzt werden: Luftwechsel im Mittel $0,4 \text{ h}^{-1}$, Elektroeffizienz $0,45 \text{ Wh/m}^3$, Laufzeit 8.760 h/a . Damit ergibt sich die elektrische Jahresarbeit zu $(2,55 \times 0,4 \times 0,45 \times 8,76) \text{ kWh/m}^2/\text{a} = 4,0 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$



Mittelwert 1.387 kWh/Person/Jahr



Mittelwert 1.156 kWh/Person/Jahr



Mittelwert 231 kWh/Person/Jahr

Abbildung 19: Strom 2022 personenbezogen

Tiefgaragen

Für 11 Baufelder ist der Stromverbrauch der Tiefgarage bekannt; er wird auch hier auf die EBF bezogen. Abbildung 20 zeigt den Verlauf und den Mittelwert, der zuletzt zwischen 1,2 und 3,2 kWh/(m²a) und bei einem Mittelwert von 2,1 kWh/(m²a) lag. In manchen Baufeldern ist der Verbrauch gestiegen, in anderen gesunken; die Gründe dafür sind in den meisten Fällen unbekannt.

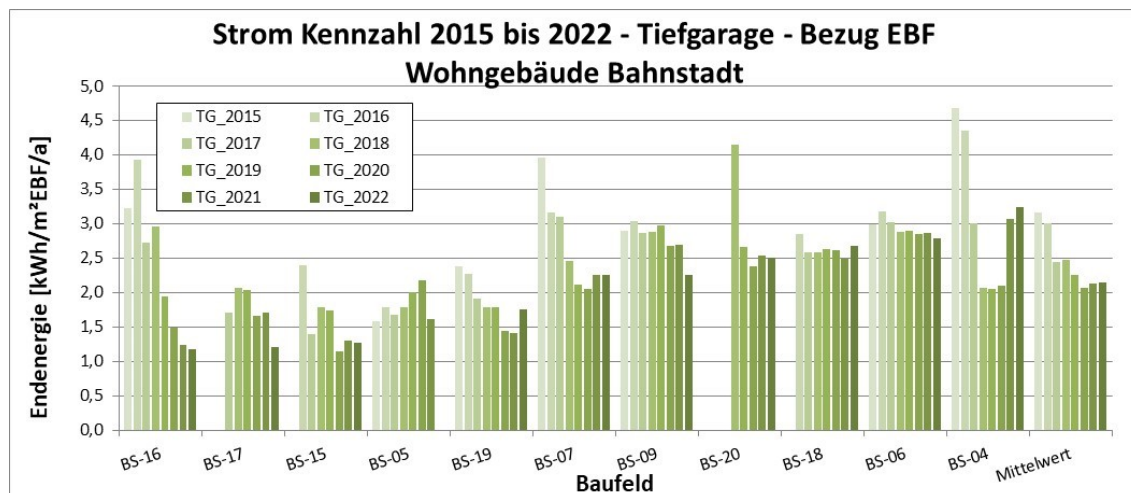


Abbildung 20: Strom Tiefgarage, Bezug auf EBF

Bezug auf Stellplätze

Abbildung 21 zeigt die gleichen Verbrauchsdaten mit Bezug auf die Anzahl der Stellplätze, sofern diese bekannt ist [Heidelberg 2018]. Auch hier ist die Bandbreite mit 95 bis 318 kWh/Stellplatz/a recht hoch bei einem Mittelwert von 202 kWh/Stellplatz/a im Jahr 2022. Insgesamt wurden 1.321 Stellplätze erfasst.

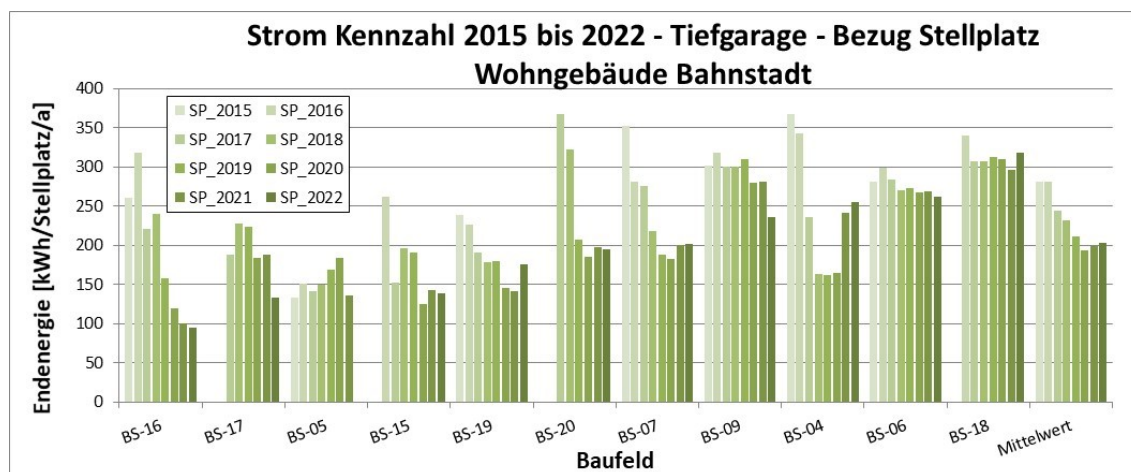


Abbildung 21: Strom Tiefgarage, Bezug Stellplatz

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 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 kWh/m²_{BGF}/a. Die entsprechenden Daten der Bahnstadt (Kategorie „Geb“ = „Nutz“ + „Allg“, Abbildung 15, Seite 18) sind als orangene Quadrate darübergelegt¹³.

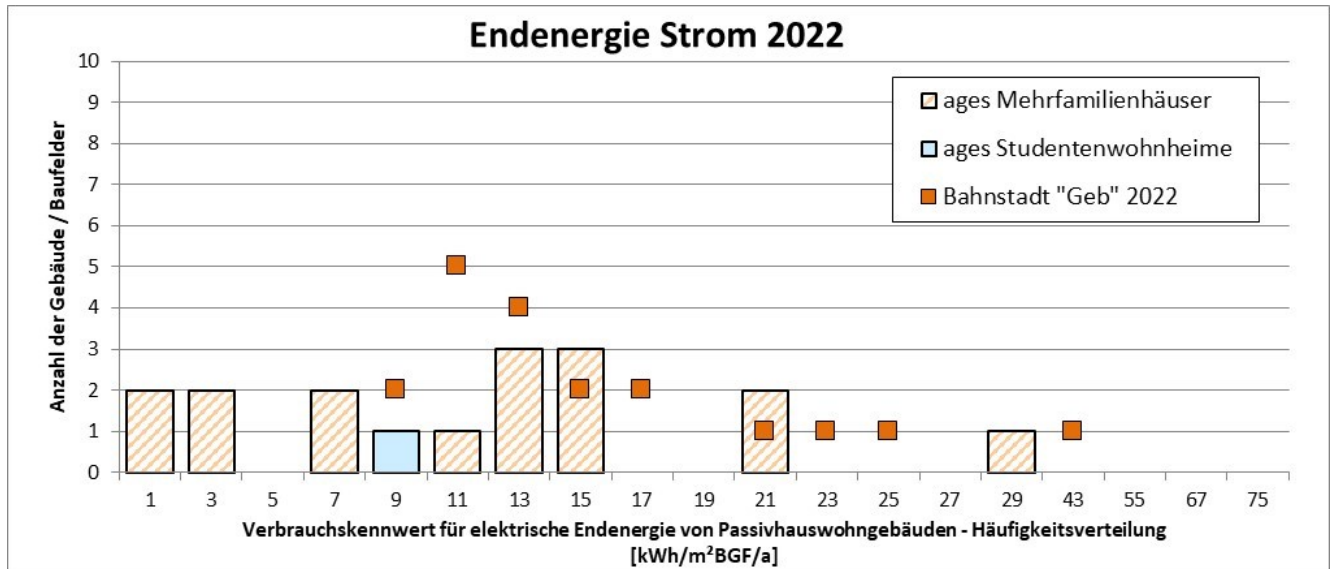


Abbildung 22: Stromverbrauch – Häufigkeitsverteilung (in Anlehnung an [ages 2015], Grafik 20)

Zur besseren Verdeutlichung sind die Mittelwerte und Standardabweichungen¹⁴ in Abbildung 23 nochmals dargestellt. Die Werte der Bahnstadt sind bei einem Mittel von 15,1 kWh/m²_{BGF}/a – im Rahmen der Genauigkeit – auf dem gleichen Niveau wie die Vergleichsdaten, obwohl hier auch Gewerbeeinheiten inbegriffen sind.

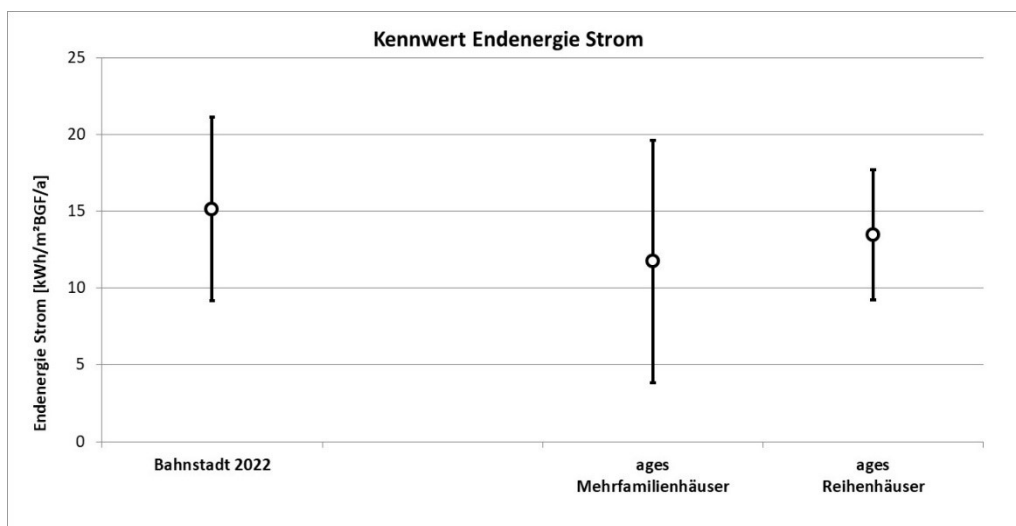


Abbildung 23: Kennwert Endenergie Strom – Mittelwert und Standardabweichung

¹³ 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).

¹⁴ Statistischer Fehler (korrigierte Stichprobenvarianz)

Wohnungen - Vergleich mit bundesweiten Statistiken

In Zusammenarbeit zwischen Umweltbundesamt und den Verbänden der Stromwirtschaft werden regelmäßig Statistiken veröffentlicht, zuletzt im Jahr 2023 [co2online 2023]. 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 2018] auf Kennwerte umgerechnet¹⁵. Für Wohnungen ohne elektrische Warmwasserbereitung ergibt sich die Spanne der Vergleichskennwerte wie folgt:

Vergleichskennwerte Strom	Kennwert niedrig [kWh/m ² WF/a]	Kennwert durchschnittlich [kWh/m ² WF/a]	Kennwert hoch [kWh/m ² WF/a]
1 Person	14	26	41
2 Personen	18	30	43
3 Personen	20	34	49
4 Personen	19	31	53
5 und mehr Personen	14	31	60

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 25,7 kWh/m²EBF/a (Abbildung 17) und liegt damit unter den durchschnittlichen Kennwerten von Tabelle 4. Nur in BS 36 liegt der Kennwert mit 65,4 kWh/m²EBF/a deutlich höher, was vermutlich durch den hohen Gewerbeanteil bedingt ist.

Es sei darauf hingewiesen, dass auch der Mittelwert in der Kategorie „Gesamt“ von 32,4 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 14 Baublöcke sind Einwohnerzahlen bekannt, siehe Seite 20. Es ergab sich in der Kategorie „Nutz“ ein Kennwert von 900 bis 1.000 kWh/Person/a. Auch dieser Wert kann mit der genannten Statistik verglichen werden (Tabelle 5); er liegt je nach Wohnungsgröße in der Kategorie B bis F und im Mittelwert durchschnittlich.

Belegung / Kategorie	A	B	C	D	E	F	G
1 Person	800	1.000	1.300	1.500	1.700	2.100	2.367
2 Personen	700	850	1.000	1.150	1.250	1.500	1.650
3 Personen	567	700	833	967	1.100	1.267	1.411
4 Personen	450	575	650	750	900	1.100	1.267

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)

¹⁵ Die Wohnflächen für die Bahnstadt liegen nicht vor; hier wird die EBF als annähernd gleichwertig betrachtet.

4 Zentrale Ergebnisse für die Nichtwohngebäude

Der Bestand der Nichtwohngebäude ist im Berichtsjahr erstmals so breit und vielfältig, dass eine Darstellung der Verbrauchskennwerte auch hier unter Wahrung des Datenschutzes möglich ist. Für 15 Baufelder lagen die Daten zumindest in Teilbereichen vor.

Andererseits sind die nutzungsbedingten Stromanwendungen in aller Regel in den Verbrauchswerten enthalten, da die Zählerstruktur keine weitere Zuordnung der Daten erlaubt.

Insgesamt wird somit eine noch stärkere Dominanz der Stromverbräuche erwartet und auch festgestellt.

4.1 Endenergie Wärme gesamt

Die Auswertung erfolgt analog zu den Wohngebäuden. Abbildung 24 stellt die Ergebnisse dar. Es zeigt sich, dass die Kennwerte nicht systematisch höher liegen als bei den Wohngebäuden; nur 2 Objekte sind nutzungsbedingt deutlich erhöht. Der Mittelwert liegt zuletzt bei 51,5 kWh/(m²a).

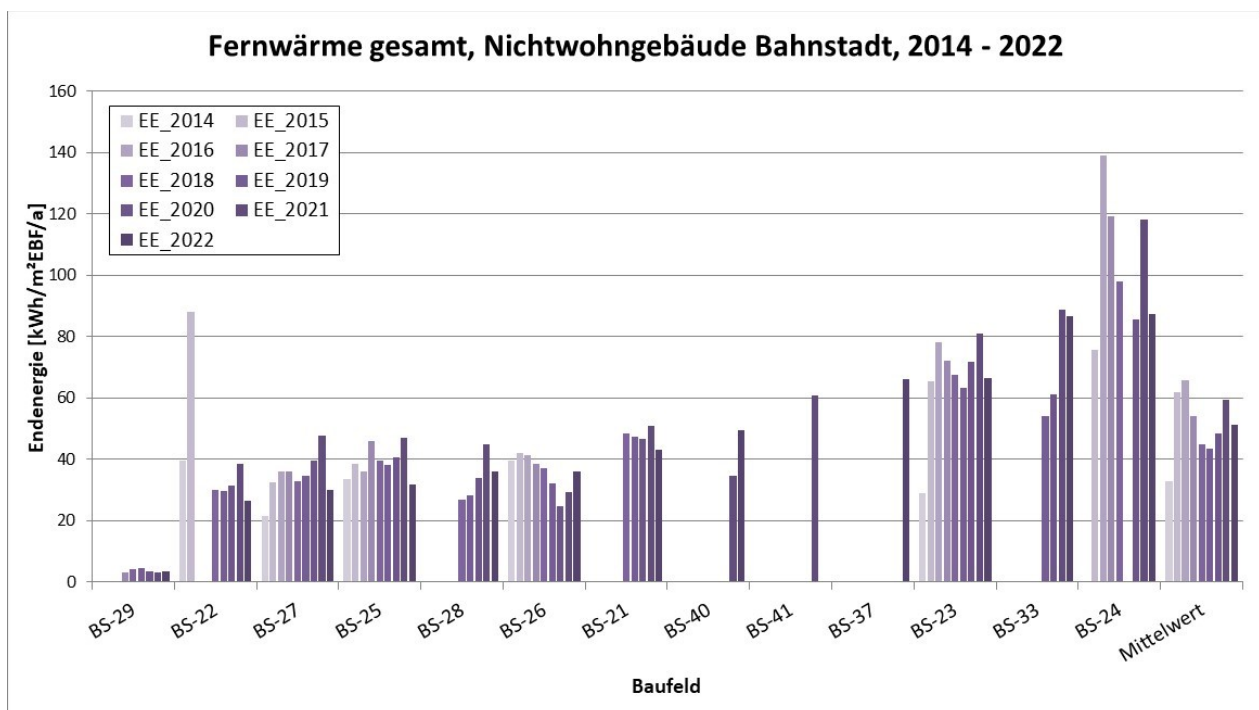


Abbildung 24: Fernwärme gesamt, Nichtwohngebäude

Eine weitere Zuordnung im Sinne des „Minimalmonitoring“ (Abschnitt 2.2) ist für die Nichtwohngebäude nicht möglich, da der Sockelverbrauch im Sommer – im Gegensatz zu den Wohngebäuden – nutzungsbedingt sehr heterogen ist.

4.2 Wärmeleistung

Abbildung 25 zeigt die Leistungsdaten der Nichtwohngebäude in Analogie zu Abbildung 7. Demnach ist der Leistungsbedarf Nichtwohngebäude deutlich höher als derjenige der Wohngebäude; die meisten Objekte haben gemessene Werte von über 35 W/m².

Daten zur bestellten Leistung liegen nur vereinzelt vor, jedoch erscheint zumindest bei vier der dargestellten Objekte eine Drosselung der Übergabestation möglich.

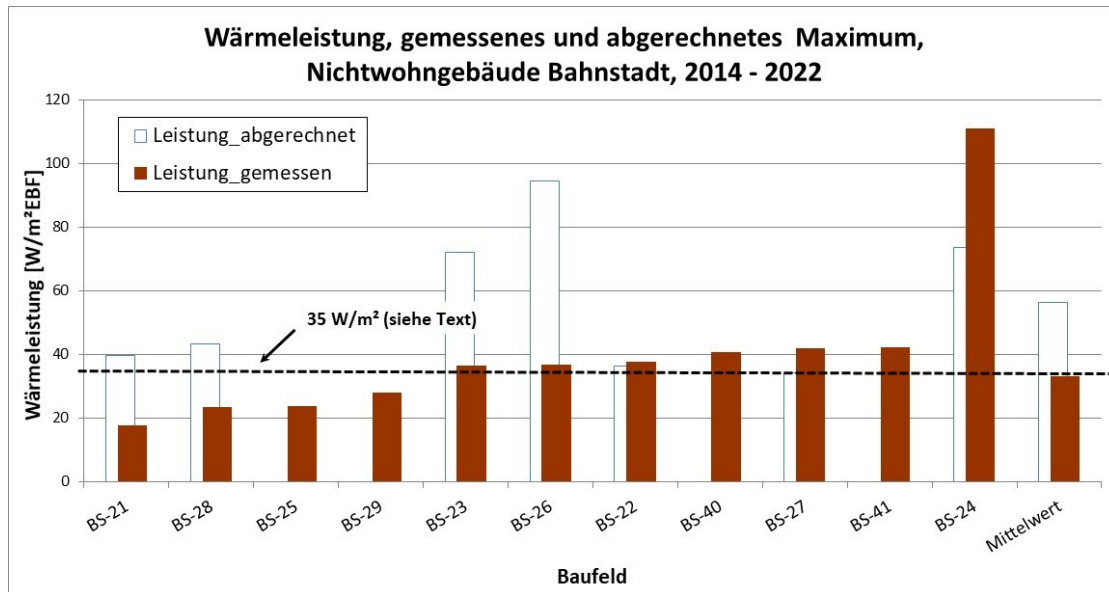


Abbildung 25: Wärmeleistung, Nichtwohngebäude

4.3 Endenergie Strom

Die Daten zum Stromverbrauch liegen, bedingt durch den Datenschutz, nur sehr lückenhaft vor; sie sind in Abbildung 26 zusammengestellt.

Erwartungsgemäß führen die vielfältigen Nutzungen zum Teil zu höheren Kennwerten als im Bereich der Wohngebäude¹⁶. Der Mittelwert liegt mit 48,9 kWh/(m²a) rund 50% höher als bei den Wohngebäuden; vergleiche Abbildung 15.

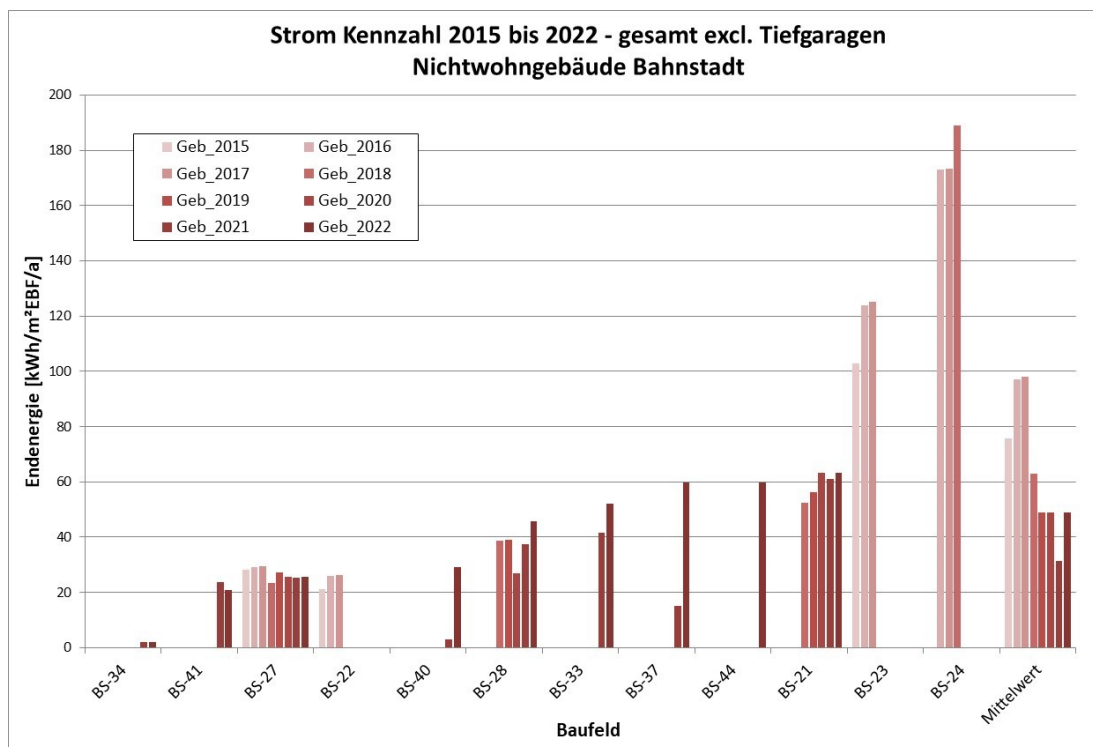


Abbildung 26: Strom gesamt excl. Tiefgaragen, Nichtwohngebäude

¹⁶ In einem Objekt (BS-34) ist anzunehmen, dass nicht alle Bereiche erfasst sind

5 Gesamtbilanz

5.1 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 sind¹⁷:

- Leistung: 3 MW elektrisch und 10,5 MW thermisch.
- Erzeugung: 24.000 MWh Strom und rund 80.000 MWh Wärme pro Jahr.
- 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 genannt¹⁸.

Außer den 21 Wohnbaufeldern dieses Berichtes sind in diesem Kapitel auch Informationen über 15 Nichtwohnbaufelder (NWG) enthalten.¹⁹

	EBF	BGF ²⁰	EE_Wärme	Lstg_Wärme ²¹	EE_Strom ²²	Bewohner	Wohneinheiten
	m ²	m ²	MWh	kW	MWh	Kopf	Stück
Stand 2022							
Summe erfasste Objekte	400.018	715.953	18.344	6.997	16.494	5.777	3.360
davon Wohnbau	252.826	540.794	12.879	4.062	8.396	5.777	3.196
davon NWG	147.192	175.159	5.465	2.935	8.099	0	164
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 2022 am Planungswert							
erfasste Objekte		57%	23%	67%	69%	-----	-----
nur Wohnbau		43%	16%	39%	35%	85%	86%

Tabelle 6: Übersicht der Rahmendaten 2022 im Vergleich zum Planungswert

Aus den Zeilen „Anteil 2022 am Planungswert“ ergibt sich:

- Gemessen an der BGF ist über die Hälfte der Bahnstadt fertiggestellt.
- Gemessen an der Bewohnerzahl ist die Wohnbebauung bereits zu 85% 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.

¹⁷ Auslegungswerte lt. <https://www.swhd.de/holz-heizkraftwerk> (23.11.2023).

¹⁸ <https://www.heidelberg-bahnstadt.de/Lde/968135.html> (23.11.2023) und [Heidelberg 2007]

¹⁹ Wg. Datenschutz mussten z.T. Daten der Vorjahre verwendet werden. Die Daten sind lückenhaft, siehe auch Kapitel 4.

²⁰ Überschlägig aus der EBF ermittelt. Flächenumrechnung Wohnbau: Siehe Fußnote 6.

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

²¹ Höchste gemessene Wärmeleistung der Jahre 2015-2022, einfache Summe der Baufelder

²² Gesamtwert des Baufeldes, d.h. inklusive Tiefgaragen. Wegen des Datenschutzes sind die Verbrauchswerte insbesondere beim Gewerbe nicht vollständig erfasst.

5.2 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“ wurde in Abschnitt „Heizwärme“ in Kapitel 2.3 näher betrachtet. Es zeigte sich eine leichte Erhöhung, die im Wesentlichen durch höhere Raumtemperaturen im Winter zu erklären ist.

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

- PE-Faktor Fernwärme Heidelberg: 0,31 (Quelle: Stadtwerke Heidelberg 2020)
- PE-Faktor Strommix Deutschland: 1,8 (Quelle: GEG 2023)

Stand 2022	PE_Wärme	PE_Strom ²³	PE_Summe	PE_Kennwert
	MWh	MWh	MWh	kWh/(m ² a)
Summe erfasste Objekte	5.687	29.226	34.912	101
davon Wohnbau	3.992	14.648	18.641	83
davon Nichtwohngebäude	1.694	14.578	16.272	134

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

Die Ergebnisse in Schlaglichtern:

- Der Sektor Strom dominiert klar die Bilanz, auch für den Wohnbau.
- Der PE-Kennwert liegt für den Wohnbau mit 83 kWh/(m²a) deutlich unter dem Zielwert. Dieses Ergebnis ist als hervorragend zu bewerten.
- Die Nichtwohngebäude haben deutlich höhere Kennwerte von 134 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; siehe auch Abschnitt 4.3. Um diese Problematik im Vorfeld zu entschärfen, hat die Stadt Heidelberg umfangreiche Stromsparkonzepte herausgegeben²⁴.
- Der Mittelwert aller erfassten Objekte liegt – trotz der o.g. speziellen Nutzungen – mit 101 kWh/(m²a) immer noch nahe des Zielwerts von 95 kWh/(m²a). Damit hat das Energiekonzept der Bahnstadt die Erwartungen auch in der Praxis erfüllt und gezeigt, dass das Passivhauskonzept für Wohn- und Gewerbeobjekte gleichermaßen geeignet ist.

²³ Ohne Tiefgaragen, soweit abtrennbar.

²⁴ Siehe <https://www.heidelberg.de/Bahnstadt/downloads.html> (23.11.2023)

5.3 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: 0,1568 kg/kWh (Quelle: Stadtwerke Heidelberg 2020)
- CO₂äqu-Faktor Strommix Deutschland: 0,560 kg/kWh (Quelle: GEG 2023)

Tabelle 8 stellt die Ergebnisse zusammen.

Stand 2022	CO ₂ äqu_Wärme	CO ₂ äqu_Strom ²²	CO ₂ äqu_Summe	CO ₂ äqu_Kennwert
	t/a	t/a	t/a	kg/(m ² a)
Summe erfasste Objekte	2.876	9.237	12.113	35
davon Wohnbau	2.019	4.702	6.721	30
davon Nichtwohngebäude	857	4.535	5.392	45

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 1,16 t/Person/a.

Weiterhin kann der Kennwert „CO₂äqu_Wärme Wohnbau“ mit dem Wert für die Wohngebäude der Gesamtstadt aus [ifeu 2023] verglichen werden. Die Bahnstadt liegt bei 8,2 kg/m² gegenüber 31,4 kg/m² für die Gesamtstadt, was ein sehr gutes Ergebnis ist.

Bewertung mit den Faktoren des Holz-Heizkraftwerkes

Wie in Abschnitt 5.1 erläutert ist das Holz-Heizkraftwerk perspektivisch in der Lage, den Stadtteil zu versorgen. Auf Basis der Betriebsdaten der Stadtwerke (Fußnote 17) 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 2022	CO ₂ Wärme	CO ₂ Strom ²²	CO ₂ Summe	CO ₂ Kennwert
	t/a	t/a	t/a	kg/(m ² a)
Summe erfasste Objekte	312	1.326	1.638	4,7
davon Wohnbau	219	675	894	3,9
davon Nichtwohngebäude	93	651	744	6,1

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

Der personenbezogene CO₂-Kennwert (Sektor Wohnbau) ergibt sich zu 0,15 t/Person/a.

Vergleichsdaten Wohnbau

Die ermittelten personenbezogene Kennwerte für den Wohnbau sind bei beiden Bilanzierungsmethoden vergleichsweise niedrig:

- für die Stadt Heidelberg wurde ein Wert von 1,97 t/Person/a bestimmt (Bezugsjahr 2015, [ifeu 2019]),
- für den Rhein-Neckar-Kreis liegt der Durchschnittswert bei 2,86 t/Person/a (Bezugsjahr 2017, [RNK 2021]).

Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse der Bahnstadt mit den beiden oben diskutierten Bilanzmethoden im Vergleich zum Durchschnittswert in der Stadt Heidelberg. Die Passivhaus-Bauweise führt zusammen mit der Versorgung durch das Holz-Heizkraftwerk zu einer CO₂-Einsparung von 92%.

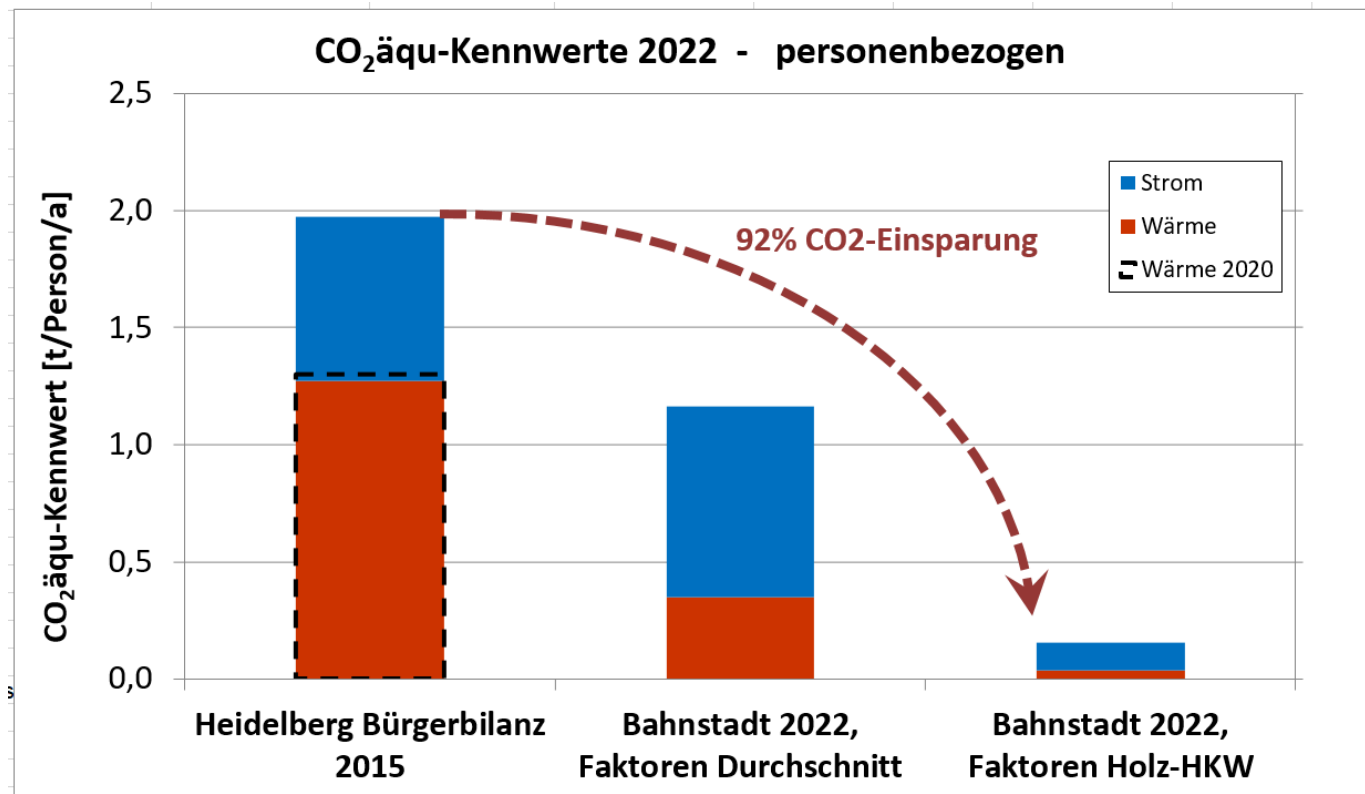


Abbildung 27: CO₂-Emissionen, Kennwerte pro Person. Gestrichelt ist der Kennwert „Wärme“ für 2020 angedeutet, der sich aus [ifeu 2023] ergibt und gegenüber 2015 fast unverändert ist.

Masterplan 100% Klimaschutz

Heidelberg beteiligt sich als eine Modellkommune am Förderprogramm „Masterplan 100% Klimaschutz“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) [Heidelberg 2014]. Ziel ist die klimaneutrale Kommune: Bis 2050 will Heidelberg den Energiebedarf der Kommune um die Hälfte reduzieren und die CO₂-Emissionen um 95% senken.

Die Bahnstadt ist dabei ein wichtiger Baustein. Abbildung 27 zeigt, dass eine Einsparung von 92% für den Wohnbau des Stadtteils bereits Realität ist.

5.4 Abweichende Flächenbezüge für Wohngebäude

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

- Gebäudenutzfläche (A_N) nach GEG § 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 2004)
- Nutzungsfläche (NUF) nach DIN 277
- Brutto-Grundfläche (BGF) nach DIN 277

Leider ist die Datenbasis für diese alternativen Bezugsflächen meist schlecht:

- A_N : Dieser Bezug ist im GEG normativ für Wohngebäude, er spielt bei der Qualitätssicherung für die Bahnstadt aber keine Rolle. Da die Energieausweise nicht zugänglich waren, wurden die Werte mit Hilfe anderer Datenquellen durch die KLiBA hergeleitet.
- WF: Nur beheizte Flächen (bWF) sind relevant, die WoFIV berücksichtigt aber auch Loggien und Balkone (mit Abschlügen). Die vorliegenden Werte geben in der Regel nicht an, ob diese Anteile inbegriffen sind oder nicht.
- NUF: Dies sind Flächen in Mehrfamilienhäusern außerhalb der Wohnungen (Gemeinschaftsflächen, Hausflure, ...). In den vorliegenden Unterlagen ist häufig nicht ausreichend spezifiziert, welche Anteile innerhalb der thermischen Hülle liegen.
- BGF: Nur beheizte Flächen (bBGF) sind relevant. Auch hier geben die vorliegenden Werte 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 + NUF	BGF
Wärme [kWh/(m ² a)]	52	45	49	25
Strom [kWh/(m ² a)]	37	31	34	17
Fläche Bahnstadt [m ²]	245.474	287.565	262.225	525.069
Datenqualität	sehr gut	gut	schlecht	schlecht

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

6 Fazit

Der Stadtteil „Bahnstadt“ wird ausschließlich in Passivhaus-Bauweise errichtet. Die Stadt Heidelberg begleitet die durchgehende Passivhaus-Pflicht nicht nur mit einer Qualitätssicherung (siehe z.B. [Passivhaustagung 2013]), sondern auch mit der kontinuierlichen Auswertung der realisierten Verbrauchswerte (siehe z.B. [Passivhaustagung 2016]).

Für den vorliegenden Bericht liegen nun die Verbrauchswerte über neun Jahre vor; zur Auswertung kommen 21 Baufelder mit überwiegender Wohnnutzung, wobei auch Gewerbeflächen einbezogen sind (meist Ladengeschäfte im Erdgeschoss). Die Gebäude haben insgesamt 252.826 m² Energiebezugsfläche, 3.196 Wohneinheiten und 96 Gewerbeeinheiten.

Weiterhin werden die zentralen Ergebnisse für 15 Baufelder mit Nichtwohngebäuden und weiteren 147.192 m² Energiebezugsfläche dargestellt.

Die Ergebnisse für den Wohnbau lassen sich in folgenden Schlaglichtern zusammenfassen²⁵:

- 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 16,2 kWh/(m²a). Gemessen am Zielwert von 15 kWh/m²/a deutet das tatsächlich auf leicht erhöhte Raumtemperaturen hin, der Wert ist aber absolut noch auf so niedrigem Niveau, dass die Erwartungen – in Rahmen der Fehlergrenzen – durchaus erfüllt sind (Seite 7). Die Jahreskosten für die reine Beheizung liegen im Schnitt bei 3,1 €/m² mit einer Spanne von 2,3 bis 6,1 €/m² (Seite 15).
- Der gesamte Wärmeverbrauch liegt zuletzt im Mittel bei 49,4 kWh/(m²a). In der regionalen Statistik für vergleichbare Mehrfamilienhäuser hat nur jedes achte Objekt so gute Werte (Seite 14). Die besten Baufelder der Bahnstadt zeigen, dass Kennwerte von unter 45 kWh/m²/a möglich sind. Die Jahreskosten für Wärme liegen im Schnitt bei 7,5 €/m² mit einer Spanne von 6,1 bis 11,6 €/m² (Seite 15).
- Der Stromverbrauch liegt im Mittel der Wohnbaufelder bei 32,4 kWh/(m²a). Darin ist neben dem Haushaltsstrom auch der Allgemeinstrom enthalten, d.h. Allgemeinbeleuchtung, Aufzug und sogar alle Lüftungsanlagen²⁶ (Seite 18). Dennoch liegt der Wert im Vergleich mit bundesweiten Statistiken innerhalb der normalen Bandbreite (Seite 24).
- Ein Tiefgaragenstellplatz benötigt im Mittel rund 200 kWh Strom pro Jahr, das entspricht etwa 1/6 des Nutzerstroms eines Bahnstädters bzw. dem Strombedarf einer Wohnfläche von 8 m² (Seite 22).

Für die Nichtwohngebäude ergeben sich folgende Ergebnisse²⁵:

- Der Fernwärme-Kennwert liegt mit 51,9 kWh/(m²a) auf dem gleichen Niveau wie bei den Wohngebäuden.
- Der Stromverbrauch liegt im Mittel der Nichtwohngebäude bei 48,9 kWh/(m²a) und damit 50% höher als bei den Wohngebäuden. Dies spiegelt die höhere Technisierung der Gebäude wieder sowie die Tatsache, dass auch spezielle Nutzungen wie z.B. Labore enthalten sind.

²⁵ Kennwerte jeweils mit Bezug auf das Jahr 2022 und die Energiebezugsfläche „EBF“

²⁶ Jedoch nicht die Tiefgaragen, soweit abtrennbar

Zusammengenommen ist die Gesamtbewertung der Bahnstadt – obwohl die Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist – sehr positiv:

- Die Primärenergie-Bilanz entspricht den Vorgaben der Passivhaus-Bauweise (Seite 28),
- die CO₂-Emissionen liegen deutlich unter dem Heidelberger Durchschnittswert (Seite 29) und
- die Ziele des „Masterplan 100% Klimaschutz“ sind für den Wohnbau nahezu realisiert (Seite 30).

Es gibt Ansatzpunkte für weitere Analysen wie folgt:

- Da innerhalb der Baufelder bereits eine Mittelbildung über viele Wohnungen stattfindet, ist die starke Streuung auf Ebene der Baufelder unerwartet (Wärme Seite 5, Strom Seite 18).
- 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 9). Ggf. sind auch Investitionen in eine verbesserte Hydraulik sinnvoll.
- Im Bericht [PHI 2021] finden sich nützliche Hinweise zur Betriebsoptimierung und Wärmeleistungsreduktion für Eigentümer, Nutzer und Verwaltungen.
- Eine kontinuierliche Überprüfung der technischen Anlagen und Einstellparameter erscheint notwendig. Das Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie der Stadt Heidelberg unterstützt interessierte Eigentümer, Nutzer und Verwaltungen dabei gerne.

Literatur

[ages 2015] Energieverbrauchskenntwerte energetisch hocheffizienter Gebäude, ages GmbH, Abschlussbericht, September 2015,

https://ages-gmbh.ageslogger.de/images/downloads_von_der_homepage/20160222_kweff_kurzfassung.pdf

[BISKO 2018] „Berechnungshilfe Emissionsfaktoren Fernwärme und lokaler Strommix“, ifeu GmbH, Heidelberg 2018

<https://www.ifeu.de/publikation/bisko-bilanzierungs-systematik-kommunal/>

[co2online 2023] Stromspiegel 2023, co2online, Berlin 2023

<https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromspiegel-stromverbrauch-vergleichen/>

[Destatis 2018] Fachreihe 15 Sonderheft 1, Ausgabe 2018

<https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/publikationen-fachserienliste-15.html>

[ebök 2007] Baugebiet Bahnstadt in Heidelberg - Städtebauliches Energie- und Wärmeversorgungskonzept, ebök, Tübingen 2007

https://www.heidelberg-bahnstadt.de/site/HD_Satelliten/get/documents_E1257570320/heidelberg/Objektdatenbank/Bahnstadt/heidelberg-bahnstadt.de/Pdf/2020_A1_Energiekonzept_Bahnstadt.pdf

[Heidelberg 2007] Städtebauliche Rahmenplanung „Bahnstadt 2007“, Begründung, Stadtplanungsamt

<https://docplayer.org/58110982-Staedtebauliche-rahmenplanung-bahnstadt-2007.html>

[Heidelberg 2014] Masterplan 100% Klimaschutz

<https://www.heidelberg.de/hd/HD/Leben/masterplan+100+prozent+klimaschutz.html>

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

[ifeu 2019] „CO₂-Bilanzierung bis 2018 für die Stadt Heidelberg“, Endbericht, ifeu GmbH, Heidelberg 2019

https://www.heidelberg.de/site/Heidelberg_ROOT/get/documents_E2103137505/heidelberg/Objektdatenbank/31/PDF/01_Ifeu_Studie_CO2_Bilanzierung_bis_2018_fuer_die_Stadt_Heidelberg.pdf

[ifeu 2023] „Kommunaler Wärmeplan Heidelberg“, Endbericht, ifeu gGmbH / ebök GmbH / EEB ENERKO GmbH, Heidelberg 2023

https://www.heidelberg.de/site/Heidelberg_ROOT/get/documents_E1843956874/heidelberg/Objektdatenbank/31/PDF/Energie%20und%20Klimaschutz/W%C3%A4rmeplanung/01_Bericht_Kommunaler_Waermeplan_Heidelberg.pdf

[KLiBA 2023] Energie-Monitoring der Jahre 2014 bis 2021 für die Wohngebäude im Passivhaus-Stadtteil Heidelberg-Bahnstadt, KLiBA gGmbH Heidelberg 2023

<https://www.heidelberg-bahnstadt.de/Bahnstadt/downloads.html>

[Passivhaustagung 2013] 17. Internationale Passivhaustagung 2013, Tagungsband

https://passiv.de/former_conferences/siebzehnte/index.html

[Passivhaustagung 2016] 20. Internationale Passivhaustagung 2016, Tagungsband

<https://passivhaustagung.de/de/rueckblick/>

[PHI 2016] Energie-Monitoring von Wohngebäuden im Passivhaus-Stadtteil Heidelberg-Bahnstadt, Endbericht, Passivhaus-Institut Darmstadt, Oktober 2016

https://www.heidelberg.de/site/HD_Satelliten/get/documents_E-525468453/heidelberg/Objektdatenbank/Bahnstadt/heidelberg-bahnstadt.de/Pdf/2016_monitoring_in_der_passivhaus-siedlung_heidelberg_bahnstadt.pdf

[PHI 2021] Betriebsoptimierung Bahnstadt Heidelberg, Endbericht, Passivhaus-Institut Darmstadt, Mai 2021

https://www.heidelberg.de/site/HD_Satelliten/get/documents_E199486790/heidelberg/Objektdatenbank/31/PDF/31_pdf_Betriebsoptimierung%202021%20in%20der%20Passivhaussiedlung%20Heidelberg-Bahnstadt.pdf

[RNK 2021] CO₂-Bilanzen Rhein-Neckar-Kreis

<http://klimaschutz-rnk.de/klimaschutz-rnk/co2bilanzen>

[Techem 2022] Verbrauchskennwerte 2022, Techem-Studie, Eschborn

<https://www.techem.com/content/dam/techem/downloads/techem-com/vkw-studie/23-44-001%20VKW%202022%20Leseversion.pdf.coredownload.inline.pdf>