

Betriebsoptimierung Bahnstadt Heidelberg

Durchgeführt im Auftrag des Amts für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie Heidelberg mit finanzieller Unterstützung des Rats für Nachhaltige Entwicklung

2019-2021

Dipl.-Ing. Wolfgang Hasper

Dipl.-Ing. (FH) Søren Peper

Mai 2021

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

Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Baufeld BS-19	3
2.1. Fernwärme-Anschlussleistung	3
2.1.1. Monitoring als Datengrundlage.....	3
2.1.2. Abgleich der Monitoring-Ergebnisse mit den Monatsmaxima der Wärmehähler	14
2.2. Leistungsauslegung	17
2.3. Trinkwarmwasser-Verbrauch	18
2.4. Stromverbrauch.....	19
3. Baufeld BS-07	20
3.1. Fernwärme-Anschlussleistung	20
3.1.1. Monitoring als Datengrundlage.....	20
4. Optimierung von Fernwärme-Anschlussleistungen	27
4.1. Nennleistung Fernwärmeanschluss vs. realer Leistungsbezug	29
5. Betriebsoptimierung Wärme	31
6. Zusammenfassung.....	32
7. Literatur	34
8. Anhang	36
8.1. Heizlastauslegung.....	36
8.2. Checkliste Betriebsoptimierung	39
I. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	39
II. Anschlussleistung Fernwärme.....	40
III. Trinkwasser-Erwärmung.....	40
IV. Raumheizung.....	41
V. Hilfsstrom technische Gebäudeausrüstung	41
VI. Verschattungs-Einrichtungen	42
VII. Haushaltsstrom	42
VIII. Nutzerverhalten	42
8.3. Berechnungshilfe notwendige Anschlussleistung Fernwärme	43

1. Einleitung

Die Stadt Heidelberg hat bei der Entwicklung der Bahnstadt den Passivhaus-Standard zur verbindlichen Grundlage gemacht. Eine intensive Qualitätssicherung der Planung wurde durch planungsbegleitende Kontrollen der Energiebilanzrechnungen mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) und wesentlicher Detailplanungen sowie Wärmebrückenberechnungen durch das Umweltamt der Stadt Heidelberg geleistet.

Diese Qualitätssicherung soll mit dem vorliegenden Projekt in die Betriebsphase ausgedehnt werden. Zu vielen Baufeldern liegen nun mehrjährige Betriebsdaten vor, die eine Analyse des Betriebsverhaltens erlauben. Hierauf aufbauend soll eine Betriebsoptimierung zur weiteren Einsparung von Energie und Betriebskosten erfolgen, wo sich dies als geboten erweist.

Eine wesentliche Vorarbeit für das aktuelle Projekt stellt die erstmals durch das Passivhaus Institut durchgeführte [Peper 2016] und nun fortlaufend von der KLiBA (Klimaschutz- und Energie-Beratungsagentur Heidelberg-Rhein-Neckar-Kreis gGmbH) weitergeführte Analyse in Form jährlicher Auswertungen der Stichtagsdaten der Abrechnungszähler dar [Orlik 2019].

Die Auswertungen wurden im Rahmen des Projekts „Taten für morgen“ des Rats für nachhaltige Entwicklung finanziell unterstützt [RfN].

Als Ergebnis des Monitorings [Orlik 2019] kann festgehalten werden, dass die untersuchten Gebäude der Bahnstadt die Anforderungen des Passivhausstandards bereits gut erfüllen. Unterschiede bei den Verbrauchskennwerten und der bestellten Wärmeleistung deuten darauf hin, dass durch eine Betriebsoptimierung weiteres Potenzial zur Energie- und Kosteneinsparung in einzelnen Baufeldern genutzt werden kann. Zu prüfen ist, ob die vorliegenden Daten eine Optimierung der Anschlusswerte am Fernwärmenetz der Stadtwerke Heidelberg erlauben, die auch von den Stadtwerken gewünscht wird, um das Vorhalten nicht benötigter Leistungsreserven zu minimieren. Die Verlässlichkeit dieser aus Stichtagsdaten der Wärmezähler gewonnenen Analysen durch zeitlich hochaufgelöste Detailmessungen zu überprüfen ist daher ein wesentliches Anliegen des Projektes.

Zudem sollen die Betriebsparameter der wesentlichen gebäudetechnischen Systeme beispielhaft überprüft und Hinweise zur Optimierung erarbeitet werden. .

2. Baufeld BS-19

Untersucht wurde ein erstes Baufeld einer Wohnungs-Eigentümergeinschaft mit vier großen Baukörpern und reiner Wohnnutzung von insgesamt ca. 7.850 m² Energiebezugsfläche (entspricht der beheizten Fläche).

2.1. Fernwärme-Anschlussleistung

Die Optimierung des Fernwärme-Anschlusses und Reduzierung der mit einem hohen Anschlusswert einhergehenden hohen Leistungspreise war bereits in der Vergangenheit ein Anliegen der Eigentümergemeinschaft. Die über den Leistungspreis gebildeten Kosten überstiegen die Kosten des abgerechneten Wärmeverbrauchs.

2.1.1. Monitoring als Datengrundlage

Es wurde ein Monitoringsystem installiert, welches in 5-minütigen Intervallen die Daten des Wärmezählers (Landis&Gyr Ultraheat T550) am Übergabepunkt der Stadtwerke Heidelberg sowie Systemtemperaturen des Mininetzes innerhalb des Baufeldes aufzeichnet. Daneben wurden exemplarisch die Temperaturen in einem von vier Trinkwarmwasser-Bereitern erfasst. Die Aufzeichnung begann am 2.10.2019 vor Beginn der Heizperiode und dauerte bis in das folgende Frühjahr 2020 an.

Zur Interpretation der Daten wurden Wetterdaten der nahe gelegenen Station LTZ179 herangezogen (Dezimalwerte (WGS 84): 8.65180, 49.40210). Sie gehört dem Agrarmeteorologischen Messnetz des Landwirtschaftliche Technologiezentrums Augustenbergr an (www.wetter-bw.de). Die Distanz zur Bahnstadt beträgt ca. 1000 m. Ausgewertet wurden die Parameter Lufttemperatur (2 m Höhe) und Globalstrahlung horizontal.

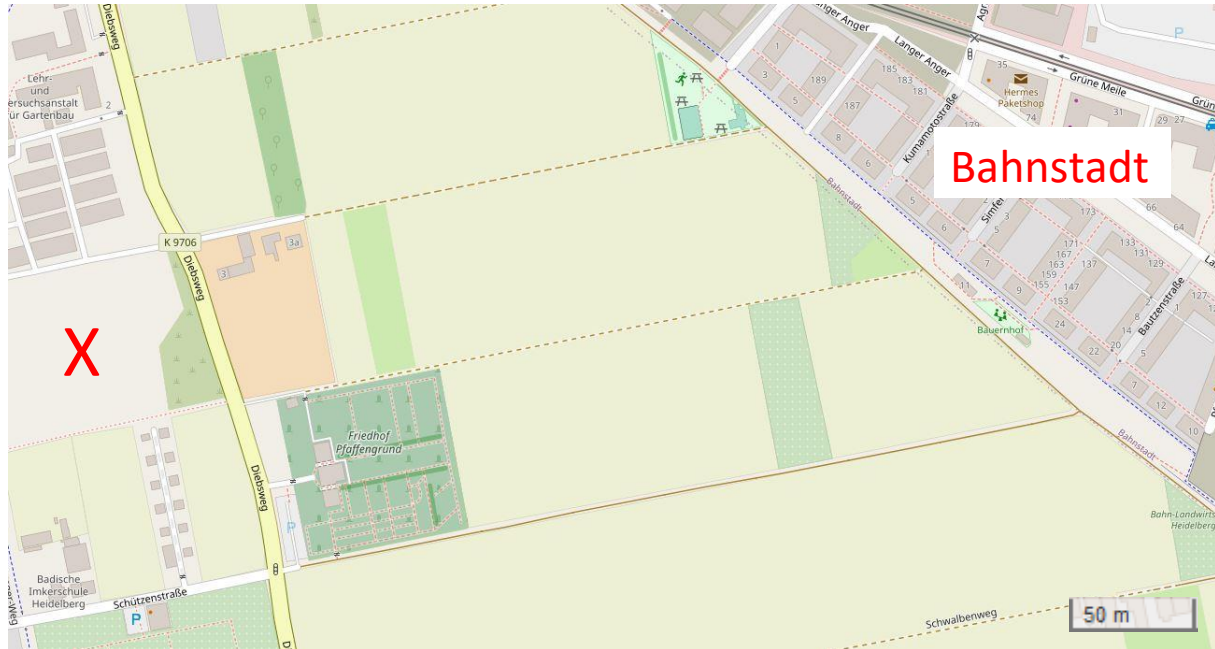


Abb. 1.: Lage („X“) der Wetterstation LTZ179 und der Bahnstadt. Distanz ca. 1000 m

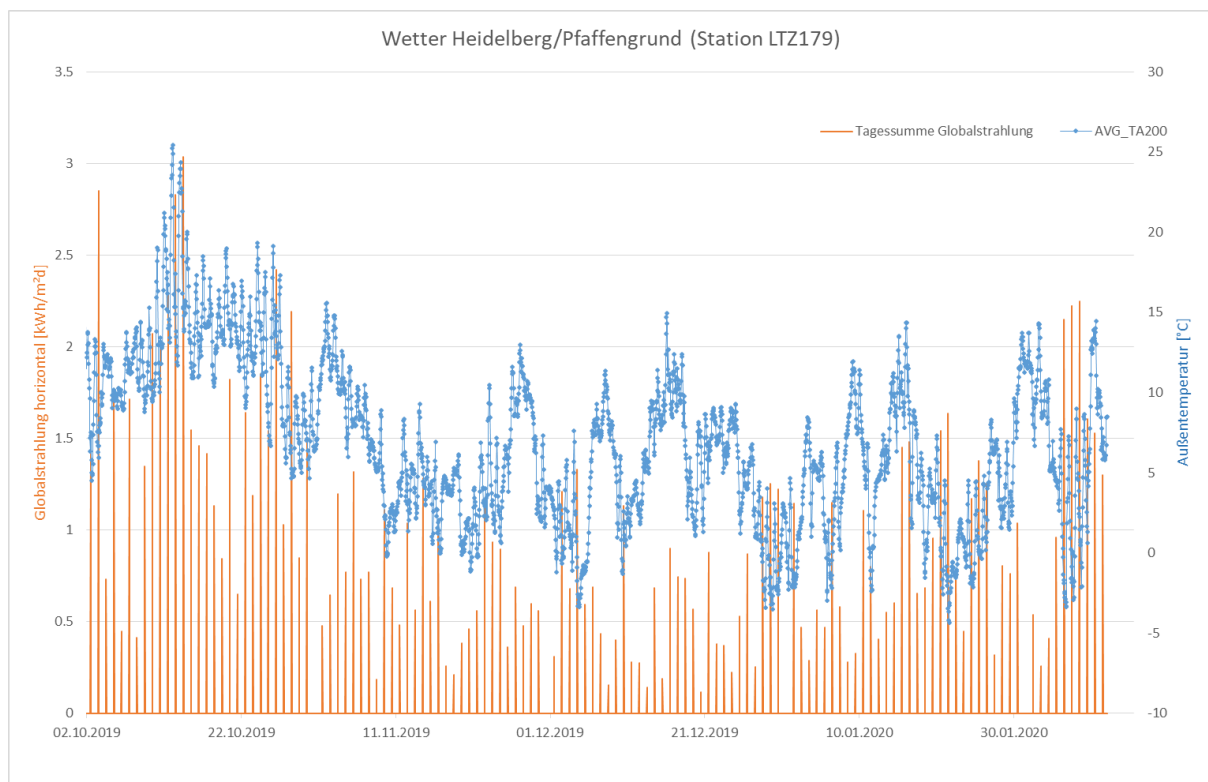


Abb. 2.: Verlauf der Außenluft-Temperatur (blau) und tägliche Globalstrahlungssummen (orange)

Mit Beginn des November 2019 gehen die Außentemperaturen merklich zurück, gleichzeitig bricht auch das Angebot an Solarstrahlung ein. Hieraus ergibt sich in Kombination der Beginn der Heizperiode in den untersuchten Passivhäusern. Dies ist am Anstieg des Verbrauchs von Wärmeenergie klar zu erkennen und zeigt sich als vergrößerte Steigung der Kurve im nachfolgenden Diagramm.

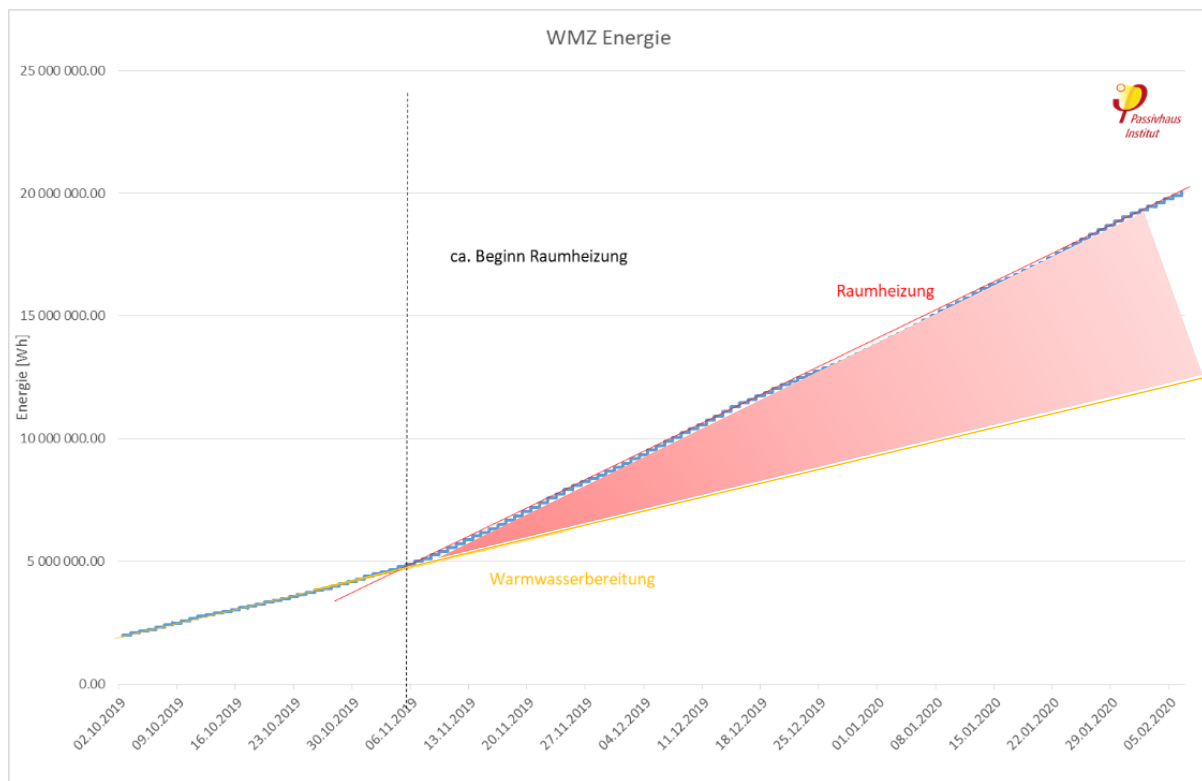


Abb. 3.: Bezug von Wärmeenergie aus dem Netz der Stadtwerke Heidelberg. Der Beginn der Heizperiode ist gut feststellbar und liegt etwa am 5.11.2019.

Durch die zeitlich fein aufgelöste Datenerfassung (5 Minuten bzw. 300 sec) sollte die Dynamik des Fernwärmebezugs im Detail verfolgt werden. Hierbei zeigte sich allerdings, dass die Register des Wärmehäufers für Energie- und Leistungswerte ebenso wie der Durchfluss nur alle 15 Minuten aktualisiert wurden. Dagegen wurden die Temperaturdaten fortlaufend aktualisiert. Daher wurde zunächst geprüft, inwiefern die Dynamik durch dieses größere Raster noch hinreichend gut wiedergegeben wird. Dies erfolgte durch genaue Betrachtung der im feinen Zeitraster vorliegenden Vorlauf- und Rücklauf Temperaturen. Dargestellt werden die 5-Minuten Messwerte der Fernwärmeversorgung:

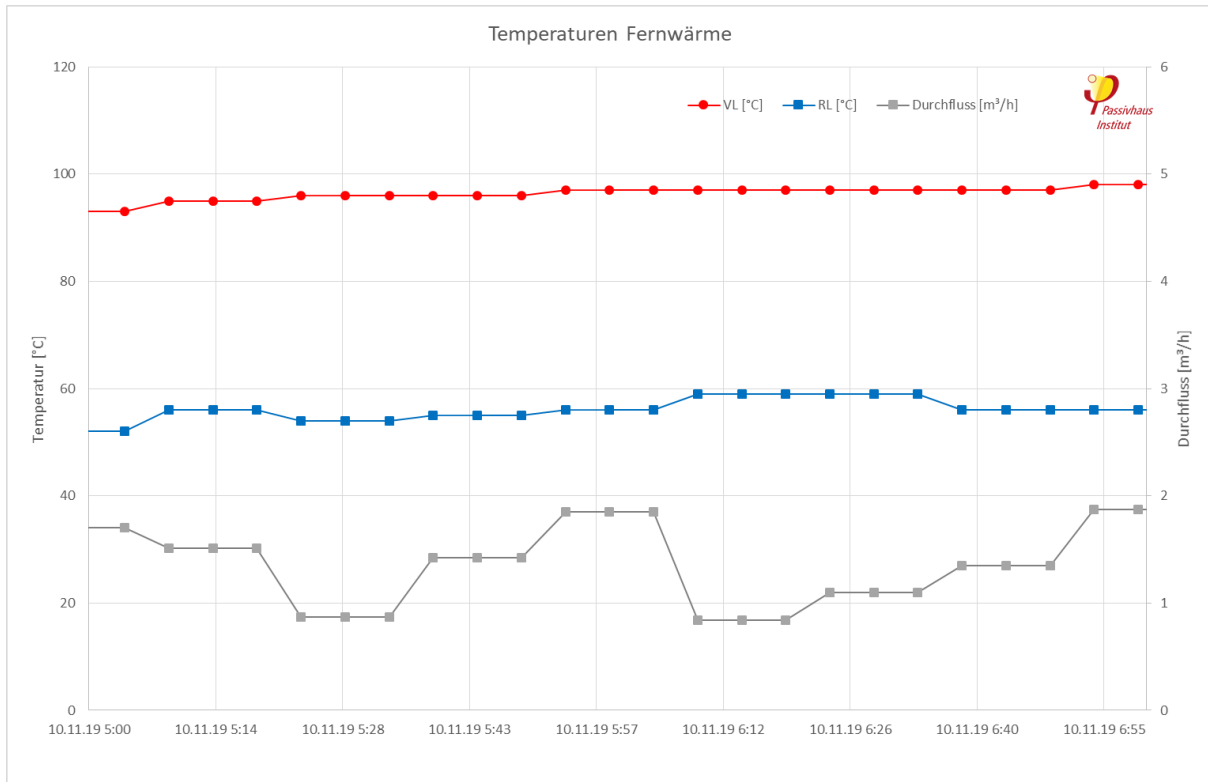


Abb. 4.: Vor- und Rücklauftemperatur der Fernwärme (primärseitig) sowie Durchfluss während einer Phase hoher Leistungsnachfrage am Morgen (5-Minuten Messdaten)

Auf der Fernwärmeseite zeigen sich bei genauer Betrachtung einer morgendlichen Spitzenlast-Phase keine kurzzeitigen Veränderungen der Rücklauftemperatur.

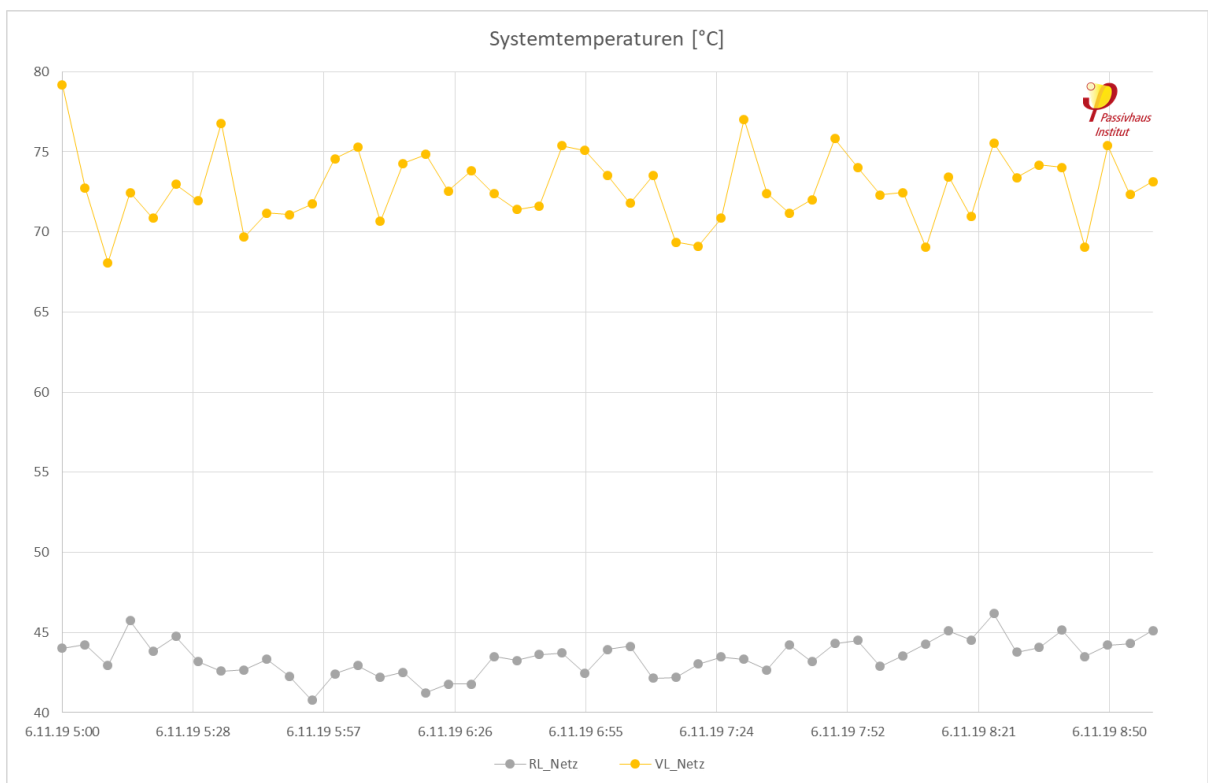


Abb. 5.: Vor- und Rücklauftemperatur des internen Wärmenetzes (sekundärseitig) während einer Phase hoher Leistungsnachfrage am Morgen

Auch die Temperaturgänge im internen Netz (Sekundär-Seite) weisen nicht darauf hin, dass innerhalb der 15-minütigen Intervalle der Zählerregister häufige sprunghafte Abweichungen auftreten. Die Dämpfung der tatsächlich auftretenden Leistungen durch die vorliegende, zählerseitige Mittelung wird daher als gering eingeschätzt.

Nach der Überprüfung der möglichen Dämpfung werden die vom Wärmehähler gemessenen Leistungsdaten untersucht. In der folgenden Übersichtsgrafik wurde den 5-Minuten Messdaten eine gleitende Mittelwert-Kurve überlagert, die annähernd tagesmittlere Leistungen zeigt (grün). Diese spiegeln den reinen Warmwasser Betrieb zuzüglich Systemverlusten zu Beginn der Aufzeichnungen wider (Oktober) während mit Beginn der Heizperiode (ca. 05.11.2019) der Leistungsbedarf der Raumheizung hinzukommt.



Abb. 6.: Gemessene Leistungswerte am Fernwärme-Zähler (5-Minuten Werte). Erkennbar wird der Beitrag der Raumheizung, der etwa ab dem 5.11.2019 zur Grundlast (Warmwasser und Verluste) hinzukommt.

Damit wird mit Abbildung 6 gleichfalls der stark begrenzte Beitrag der Raumheizung zum Gesamt-Leistungsbedarf deutlich, wie es für Passivhäuser typisch ist. Für das Baufeld mit 7.850 m² Energiebezugsfläche wäre eine maximale Heizlast von knapp 80 kW zu erwarten. Beobachtet werden mit etwa 50 kW nur ca. 2/3 dieses Wertes (Differenz des Mittelwertes Warmwasserbereitung inkl. Verluste von etwa 35 kW zum Mittelwert inkl. Beheizung von ca. 85 kW). Dies ist angesichts des sehr milden Winters nicht überraschend.

Insgesamt werden außerhalb der Heizsaison in seltenen Spitzen ca. 100 kW für die Trinkwasserbereitung bezogen. Die im späten Oktober beobachteten Spitzen über 200 kW sind Artefakte, die auf Bauarbeiten am Fernwärmenetz und dessen zeitweilige Abschaltung zurückgehen.

Kommt die Raumheizung hinzu, steigt der Leistungsbedarf in den Spitzen auf 150 kW an. Im Auslegungsfall der Raumheizung („kalter Winter“) kann ein weiterer Zuwachs um ca. 30-40 kW erwartet werden. Eine effektiv nutzbare Kapazität des Anschlusses von 200 kW sollte somit ausreichend sein,

um die Gebäude mit dem vorhandenen technischen System in der gewohnten Form betreiben zu können.

	Absolut [W]	Flächenspezifisch (EBF) [W/m ²]
Mittelwert	61526	7.8
Standardabweichung	28728	3.7
Minimum	0	0.0
Maximum	216200	27.5
Quartil 1	42900	5.5
Median	62200	7.9
Quartil 3	80200	10.2

Tab. 1: Statistische Kennwerte der aufgezeichneten Leistungs-Zeitreihe aus BS-19.

Der ursprünglich realisierte Fernwärmeanschluss mit nominell 480 kW erweist sich damit als deutlich überdimensioniert. Dem wurde bereits durch eine Reduzierung auf nominell 360 kW Rechnung getragen. Die Daten zeigen, dass eine weitere Reduzierung möglich erscheint. Angesichts des Leistungspreises von 60 €/kW können hier bedeutende Einsparungen realisiert werden.

Eine Vergrößerung des Speichervolumens der vier im Baufeld verteilten Trinkwarmwasser-Bereiter von derzeit nur 4x300 l (je 45 kW Heizung) kann die derzeit auftretenden Leistungsspitzen zusätzlich dämpfen.

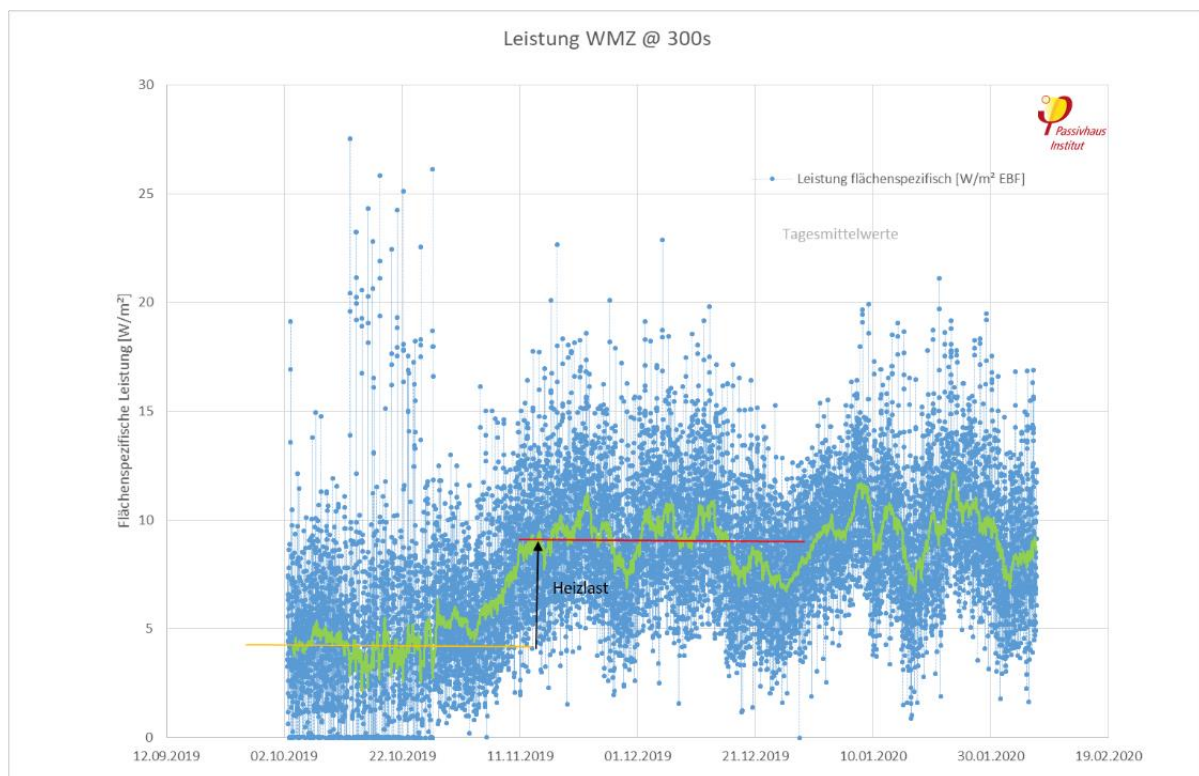


Abb. 7.: Flächenspezifische Leistungsnachfrage mit Passivhaus-typischen Beträgen. Das Diagramm zeigt die Werte aus Abbildung 6 bezogen auf die gesamte beheizte Wohnfläche des Baufeldes.

Das ursprüngliche Konzept der sog. „Mininetze“ innerhalb der Baufelder (Gutachten [Ebök 2007]) ging von der Prämisse aus, dass die Wärmeverluste der Rohrleitungen den Gebäuden zugutekommen, die Leitungen also im beheizten Bereich geführt werden. Das ist im vorliegenden Fall mit Leitungsführung in den kalten Untergeschossen nicht der Fall und auch im Nachhinein nicht leicht zu ändern.

Weiterhin wurde in dem Vorgutachten angenommen, dass die Mininetze im Sommerbetrieb (ohne Raumheizung) nur bei Beladung der Warmwasserspeicher betrieben werden (1 x täglich oder zumindest nur in sehr begrenzten Zeiträumen). Dies ist hier angesichts der geringen Speichergröße auch kaum möglich. Ein Blick auf die Speicher-Temperaturen im Wochenverlauf zeigt deutlich das Nachladen der Warmwasserspeicher im Stillstand nachts in Intervallen von ca. 1,5 h (vgl. Abb. 9).

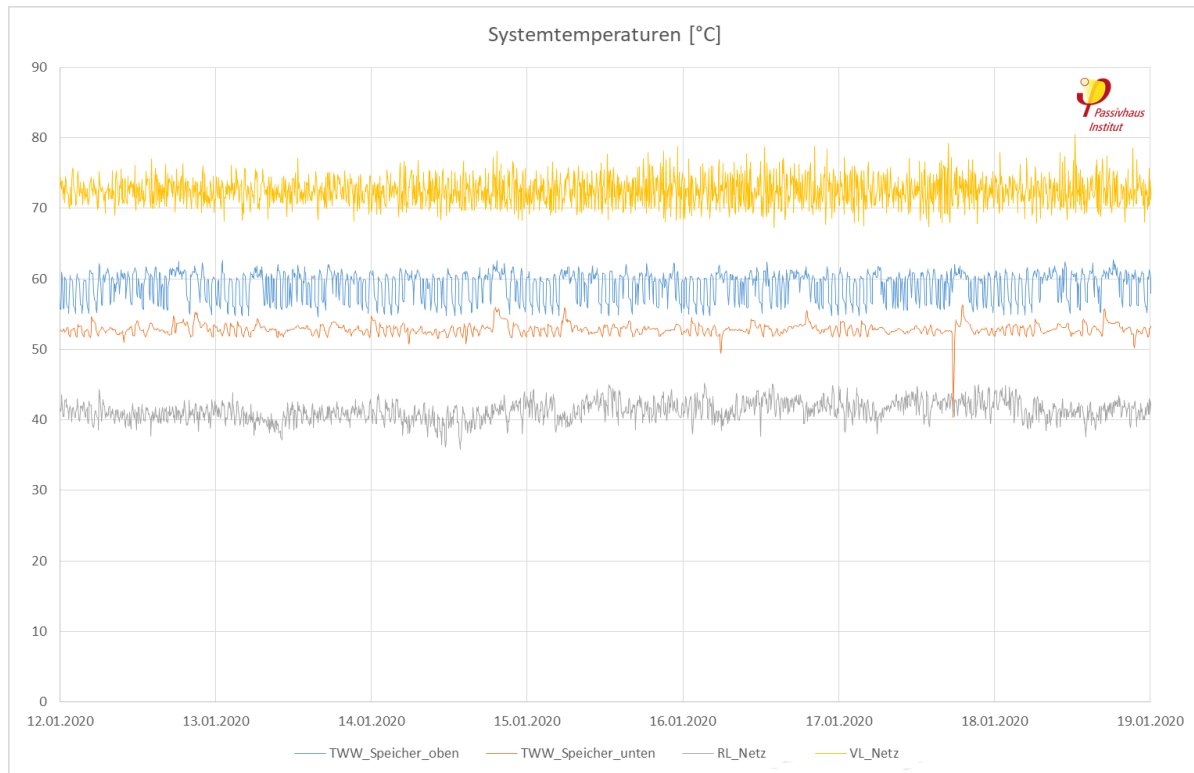


Abb. 8.: Zyklisches Nachladen der WW-Speicher während der Nacht, Intervall ca. 1,5 h, erkennbar am Verlauf der gemessenen Speicher-Temperatur (Detailansicht vom 14.01.2020, siehe unten)

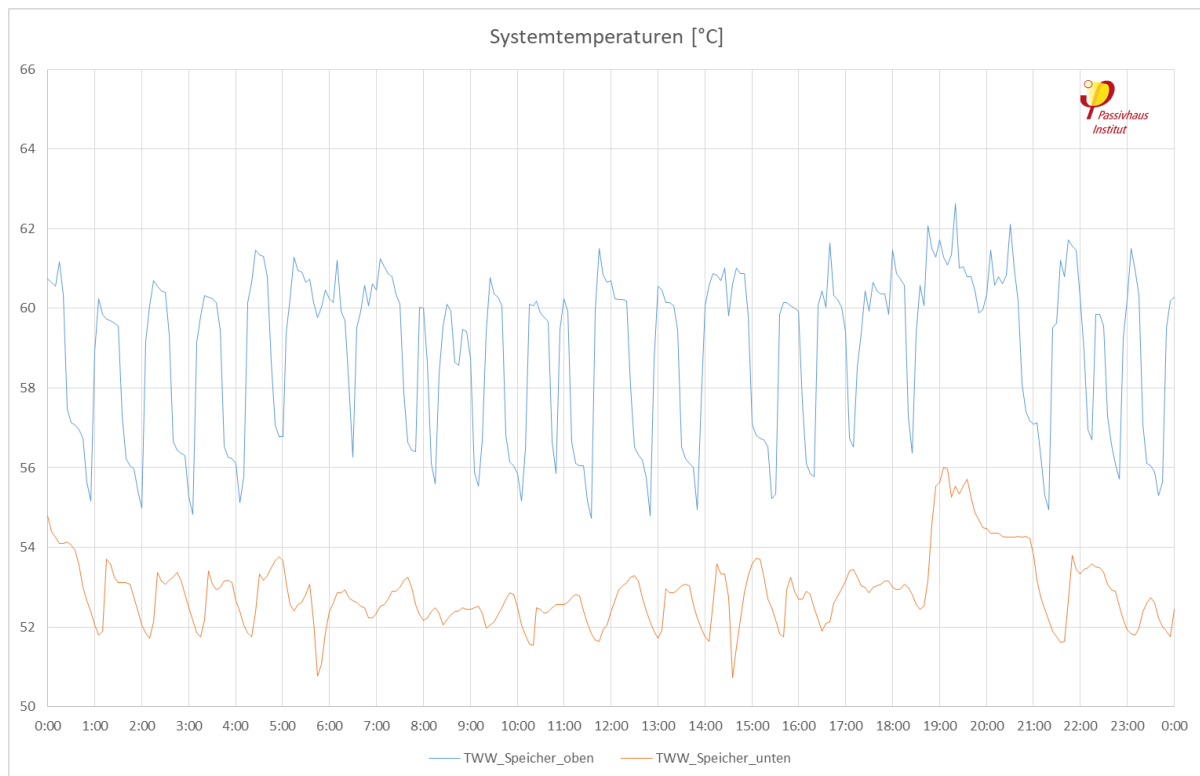


Abb. 9.: Zyklisches Nachladen der WW-Speicher während der Nacht, Detailansicht Warmwasser-Speicher 14.01.2020

Ein Abschalten des Mininetzes müsste sorgfältig abgestimmt werden, damit eine unzulässige Auskühlung der Speicher vermieden wird. Mit der bestehenden Speichergröße ist fraglich, ob hier zufriedenstellende Betriebsergebnisse und nennenswerte Einsparungen bei den Wärmeverlusten möglich sind.

Ein Blick auf die Leistungswerte im Wochenverlauf ist hilfreich, um die Dynamik nachzuvollziehen (Abb. 10). Während der Sonntag ruhiger verläuft und keine erkennbaren Verbrauchsspitzen erkennen lässt, sind diese in den wochentäglichen Morgenstunden deutlich. Vielfach zeigt sich eine weitere, kleinere Spitze zum Ende des Arbeitstages. Zur leichteren Erkennbarkeit wurden in der folgenden Abbildung in grün die stundenmittleren Werte mit eingetragen.

Erkennbar wird zudem, dass auch in den Nachtstunden eine minimale Leistung von ca. 15-20 kW (etwa 2.3 W/m^2) nicht unterschritten wird. Hier werden die Systemverluste erkennbar, die durch Wärmeabgabe der Verteilungen, Trinkwasser-Zirkulation und Warmwasserspeicher und dergleichen verursacht werden.

Unter Annahme einer Belegungsdichte von $40 \text{ m}^2/\text{P}$ ergibt sich ein Leistungsbedarf für Warmwasserbereitung und Verluste von ca. 560 W/P .

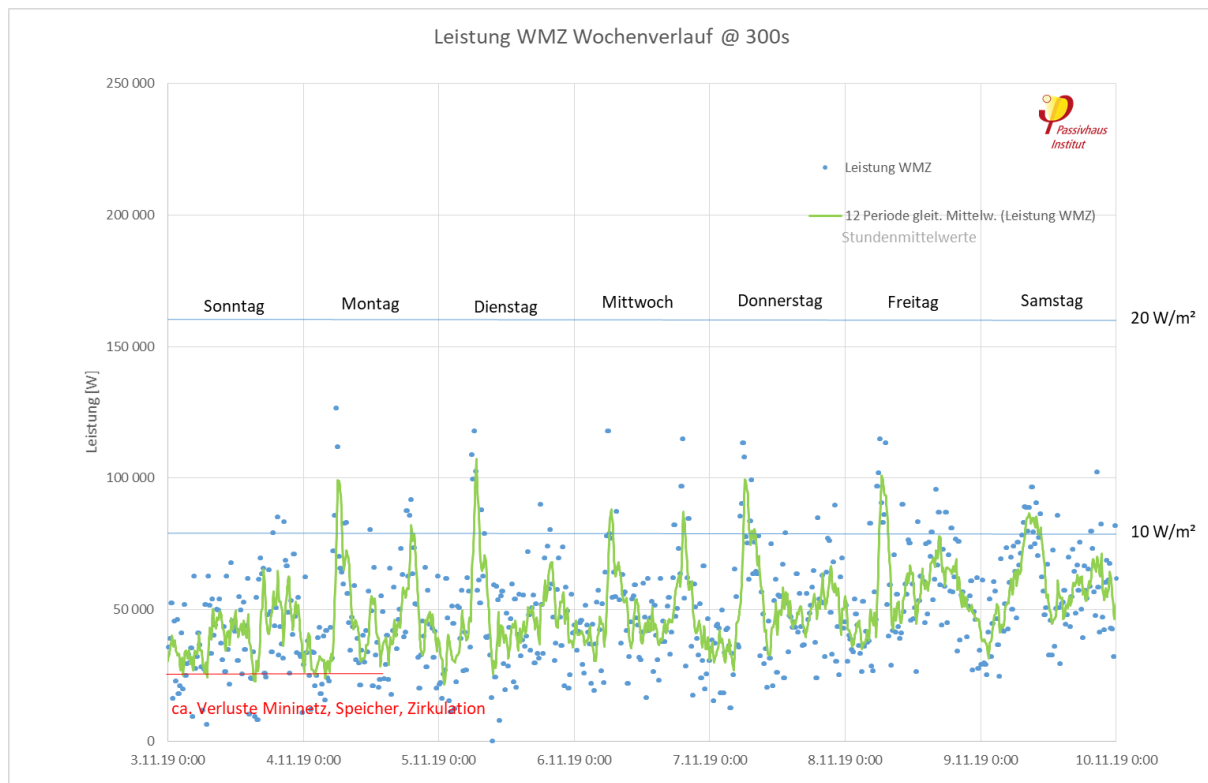


Abb. 10.: Leistungsaufnahme des Baufeldes im Wochenverlauf, mit beginnender Raumheizung ab ca. 6.11. In grün zu stundenmittleren Werten aggregiert.

Eine systematische Kontrolle der Wärmedämmung von Leitungen durch die Eigentümer ergab bereits eine Liste von Mängeln hinsichtlich unzureichender Dämmstärke und lückenhafter Verarbeitung. Solche Nacharbeit ist geeignet, die Systemverluste zu reduzieren. Bereits kleinere Verbesserungen können große Auswirkungen haben, da die Verluste über den gesamten Jahreszeitraum ununterbrochen anfallen. Ein Großteil der Leitungen und Speicher ist im unbeheizten Bereich der Gebäude angeordnet, daher sollte auf eine besonders hochwertige Wärmedämmung der Leitungen (2DN/50 mm) geachtet werden. Auch eine zusätzliche Dämmung der Warmwasserspeicher sollte geprüft werden. Möglicherweise kann dadurch die Voraussetzung für eine zeitweilige Stilllegung des Mininetzes des Baufeldes geschaffen werden.

Sollte zukünftig eine andere als thermische Legionellenprophylaxe zum Einsatz kommen (z.B. durch den Betrieb einer Diaphragmalyse-Anlage o.ä.) und die Warmwasser-Systemtemperatur in der Folge sinken, können weitere Einsparungen realisiert werden (das Speichervolumen wäre dann ebenfalls anzupassen).

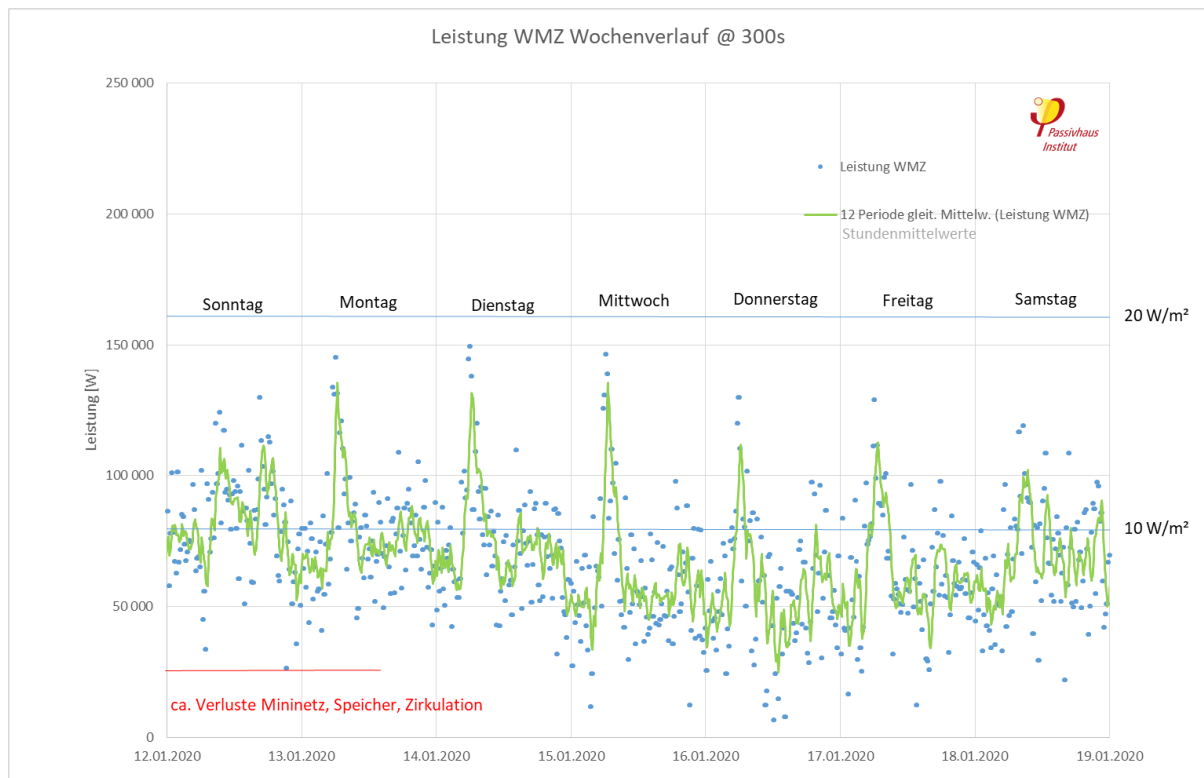


Abb. 11.: Leistungsaufnahme (5-Minuten Daten) des Baufeldes im Wochenverlauf, während der Heizperiode. In grün zu stundenmittleren Werten aggregiert.

In der Heizperiode wird die aus der Trinkwarmwasser-Bereitung herrührende Dynamik unverändert wirksam, sie ist lediglich um den Betrag der Leistung für die Raumheizung nach oben verschoben. Da die Raumheizung in Passivhäusern eine geringe und stetige Größe darstellt, kann auch aus Daten, die außerhalb der Heizperiode gewonnen werden, dennoch eine verbesserte Auslegung des Fernwärmeanschlusses hergeleitet werden. Hierzu wäre als wesentliche Kenngröße die Nutzungsart und Größe der Energiebezugsfläche (beheizte Wohnfläche) eines jeweiligen Baufeldes erforderlich. Voraussetzung ist dabei, dass die Bausubstanz den Vorgaben des Passivhaus-Standards entspricht. Dies sollte anhand der vorliegenden Daten zum Endenergieverbrauch (Heizwärme) zunächst geprüft werden.

Informativ sei nachfolgend noch der Verlauf der Systemtemperaturen im Netz der Stadtwerke Heidelberg dargestellt. Er zeigt deutlich die Unregelmäßigkeiten im Netzbetrieb kurz nach Beginn der Messungen.

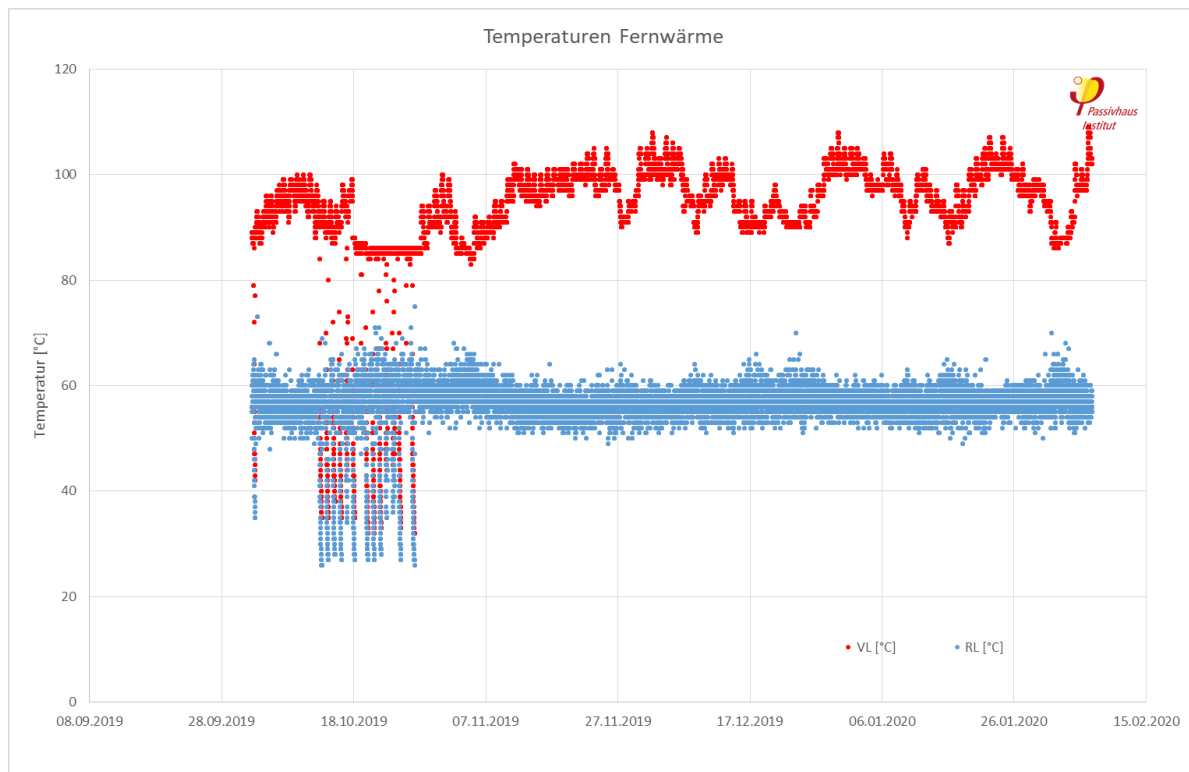


Abb. 12.: Verlauf von Vorlauf- und Rücklauf Temperatur im Netz der Stadtwerke Heidelberg. Erkennbar wird die Regelung auf ca. 60 °C Rücklauf Temperatur. Mitte Oktober fanden offenbar Bauarbeiten am Fernwärmenetz/zeitweise Abschaltung des Netzes statt.

Die im Baufeld-internen Wärmeverteilnetz gemessenen Temperaturen in Abb. 13 von im Mittel ca. 75/45 °C (Warmwasserbetrieb) sind angesichts der damit betriebenen Trinkwarmwasser-Bereitung bereits als gering anzusehen und begrenzen dadurch Wärmeverluste. Eine weitere Absenkung erscheint zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich (erforderlicher thermischer Schutz vor Legionellen).

Dies trifft auch auf die Temperaturen des Warmwasserspeichers zu. Hier wäre zu prüfen, ob eine periodische Aufheizung des gesamten Speicherinhaltes (z.B. jede Woche) die Hygienebedingungen verbessert. Sofern eine solche Maßnahme umgesetzt werden sollte, könnten die vier Speicher zeitversetzt beheizt werden, um Leistungsspitzen zu vermeiden. Zudem könnte die Aufheizung einer bekannten Verbrauchsspitze (z.B. am Montag Morgen) vorausgehen, um die eingesetzte Energie optimal zu nutzen.

Die Rücklauf Temperatur des Baufeld-internen Netzes vermindert sich in der Heizperiode auf den angestrebten Wert von 40 °C, was für eine sinnvolle Auslegung der Heizflächen spricht.

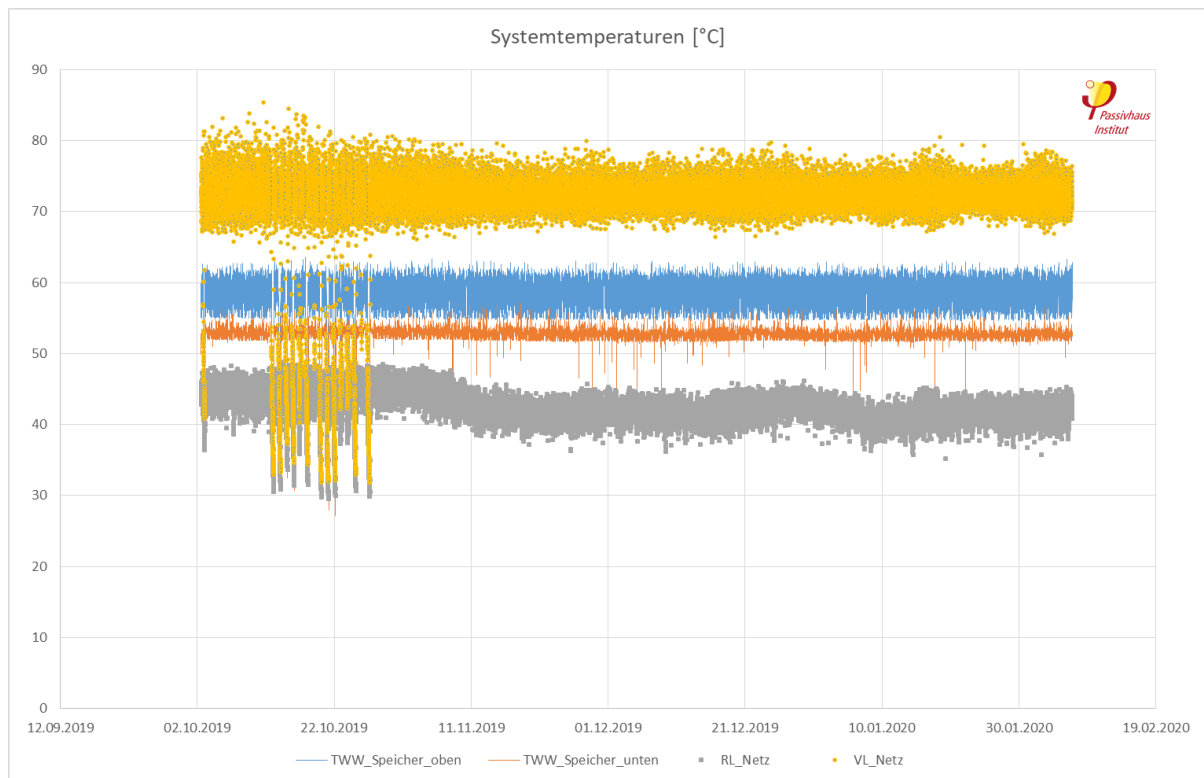


Abb. 13.: Gemessene Temperaturen im Baufeld-internen Wärmeverteilnetz (ca. 75/45 °C) und in einem der Trinkwarmwasser-Bereiter. Mitte November fanden offenbar Bauarbeiten am Fernwärmenetz/zeitweise Abschaltung des Netzes statt.

2.1.2. Abgleich der Monitoring-Ergebnisse mit den Monatsmaxima der Wärmezähler

Im nächsten Schritt wird überprüft, ob die monatsweise automatisch generierten Maximal-Messwerte aus dem Wärmezähler nutzbar sind für eine evidenzbasierte Leistungsreduktion des jeweiligen Anschlusses. Energiewerte sowie Maximalwerte der Leistung sind aus dem Monatsspeicher der eingesetzten Wärmezähler (Datenlogger-Funktion) verfügbar. Die eingesetzten Wärmezähler Landis&Gyr Ultraheat T550 können ab Werk auf Mittelungsintervalle von 60, 30, 15 oder 7,5 Minuten konfiguriert werden. Nach Aussage der Stadtwerke Heidelberg wird bei den eingesetzten Zählern das 60-Minuten Intervall verwendet, so dass es sich um die höchsten *stundenmittleren* Leistungen des jeweiligen Monats handelt (Abb. 14.)

Diese betragen für das untersuchte Baufeld gemäß der Untersuchungen der KLiBA ca. 18 W/m² oder absolut ca. 142 kW, in recht guter Übereinstimmung mit den in dieser Untersuchung ermittelten Stundenwerten (vergl. Abb. 7). Das hier untersuchte Baufeld wird auch in der Untersuchung der KLiBA unter „BS-19“ codiert aufgeführt.

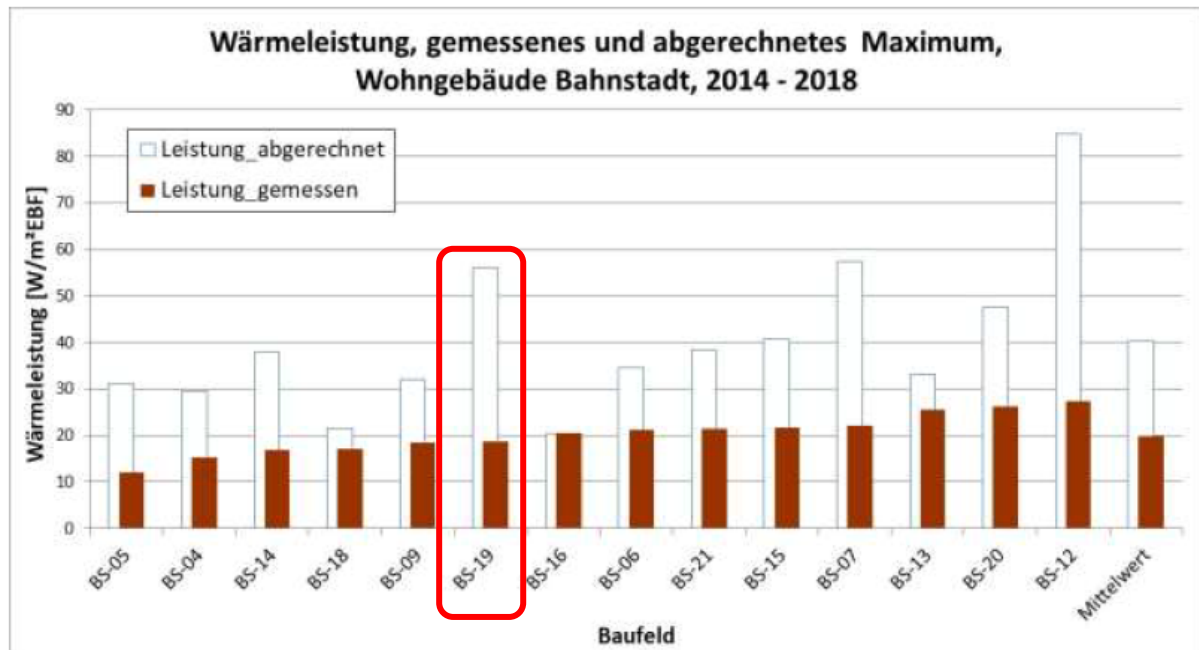


Abb. 14.: Maximale bezogene Leistung (Maximalwerte aus den WMZ der Übergabestationen) und ursprünglich angeschlossene Maximalleistung (Quelle [Orlik 2019]). Das hier näher untersuchte Baufeld ist mit dem roten Kasten markiert.

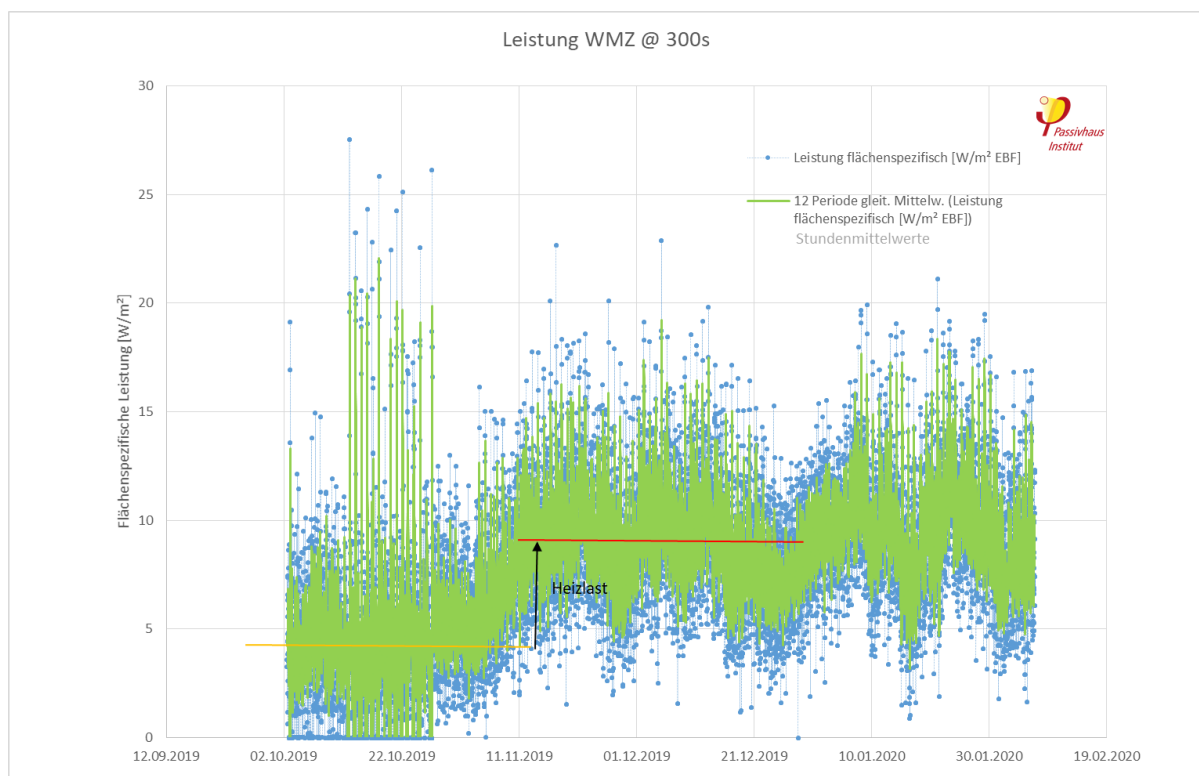


Abb. 15.: Gemessene Leistungswerte am Fernwärme-Zähler aus Abb. 7. In grün ergänzt sind die 5-Minuten Leistungsdaten aggregiert zu Stunden-Mittelwerten.

Die Werte aus der vereinfachten Monatsauswertung der KLiBA mit Bezug zu den im Wärmezähler gespeicherten Monats-Maxima kann auf Basis der hochaufgelösten Messdaten für das untersuchte Baufeld bestätigt werden.

Dieses wird durch die Untersuchung eines weiteren Baufeldes erhärtet werden und liefert dann eine verlässliche Grundlage für die Optimierung der Anschlussleistung jedes Baufeldes. Dazu siehe den Abschnitt zur Untersuchung des zweiten Baufeldes weiter unten.

Auch durch weitere Quellen können die Ergebnisse bestätigt werden: Die von der Stadt Frankfurt veröffentlichten „Leitlinien-wirtschaftliches-Bauen.pdf“ führen an [Linder 2019]:

„4.1.1 [...] e) Beim Einbau von neuen Wärmeerzeugern im Bestand ist die gemessene oder über Regression ermittelte Wärmeleistung bei Auslegungstemperatur (-12°C) abzüglich der Verluste der alten Wärmeerzeuger zugrunde zu legen. **Bei Neubauten sind die Randbedingungen nach Beiblatt 1 vom Juli 2008 der DIN EN 12831 zu verwenden. Der Grenzwert liegt bei 30 W/m², der Zielwert bei 20 W/m².**“

Auch diese Empfehlung kann aus den Messwerten heraus bestätigt werden, sofern es sich um tatsächlich verfügbare Leistungen handelt.

Hier muss zwischen der beim Versorger angemeldeten Nennleistung und der tatsächlich verfügbaren Leistung unterschieden werden. Die angemeldete Nennleistung, leitet sich aus der unter den von den Stadtwerken Heidelberg angenommenen Auslegungsbedingungen von -12°C mittlerer Außenluft-Temperatur und der dann bei erhöhter Vorlauftemperatur möglichen Temperaturspreizung her (siehe Abschnitt 4).

2.2. Leistungsauslegung

Für die Einzelgebäude des Baufeldes wurden von den Fachplanern Leistungsberechnungen nach der Norm EN13831 durchgeführt aber auch einzelne PHPPs erstellt. Das Verfahren nach EN13831 führt zu einer Leistung von 227 kW für die Raumheizung im Auslegungsfall, während das an die Gegebenheiten von Passivhäusern angepasste [PHPP] hier einen Wert von ca. 87,5 kW bestimmt. Zwischen den Berechnungen liegt damit ein Faktor von 2,6. Ursächlich ist hier der ganz andere Berechnungsansatz im PHPP, der extra für diese energieeffizienten, thermisch trägen und stark von solaren Einflüssen geprägten Gebäude erarbeitet wurde [Bisanz 1999]. Die hieraus folgende Überdimensionierung des Systems und des Fernwärmeanschlusses führt zu überhöhten Investitions- und Betriebskosten und beeinflusst das Regelverhalten ungünstig.

Die gemessenen Werte befinden sich in guter Übereinstimmung mit den nach [PHPP] erwarteten Werten und stützen das dort verwendete Heizlast-Verfahren noch einmal mehr.

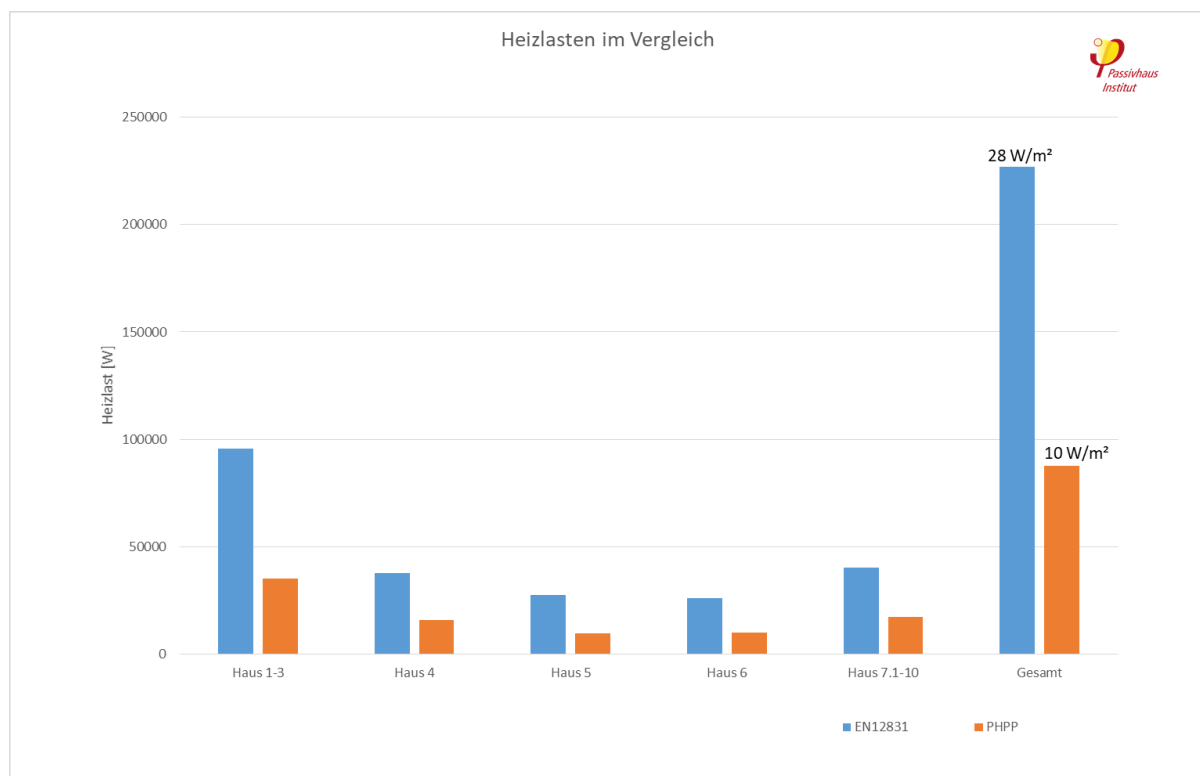


Abb. 16.: Heizlast bestimmt nach EN12831 im Vergleich zu den für jedes Einzelgebäude des Baufeldes vorliegende Berechnungen (Energiebilanz) mit dem Passivhaus Projektierungspaket [PHPP]. Die EN12831 sowie die PHPP Berechnungen wurden von den jeweiligen Fachplanern durchgeführt.

Das Einsparpotential wird deutlich, wenn die Anschlussleistung aus der Planungszeit mit der ersten Anpassung und der Empfehlung nach der Messung verglichen wird (Abb. 17). Hier finden sich die Anschlusswerte für den Gesamt-Leistungsbedarf für Raumheizung und Trinkwarmwasser-Bereitung.

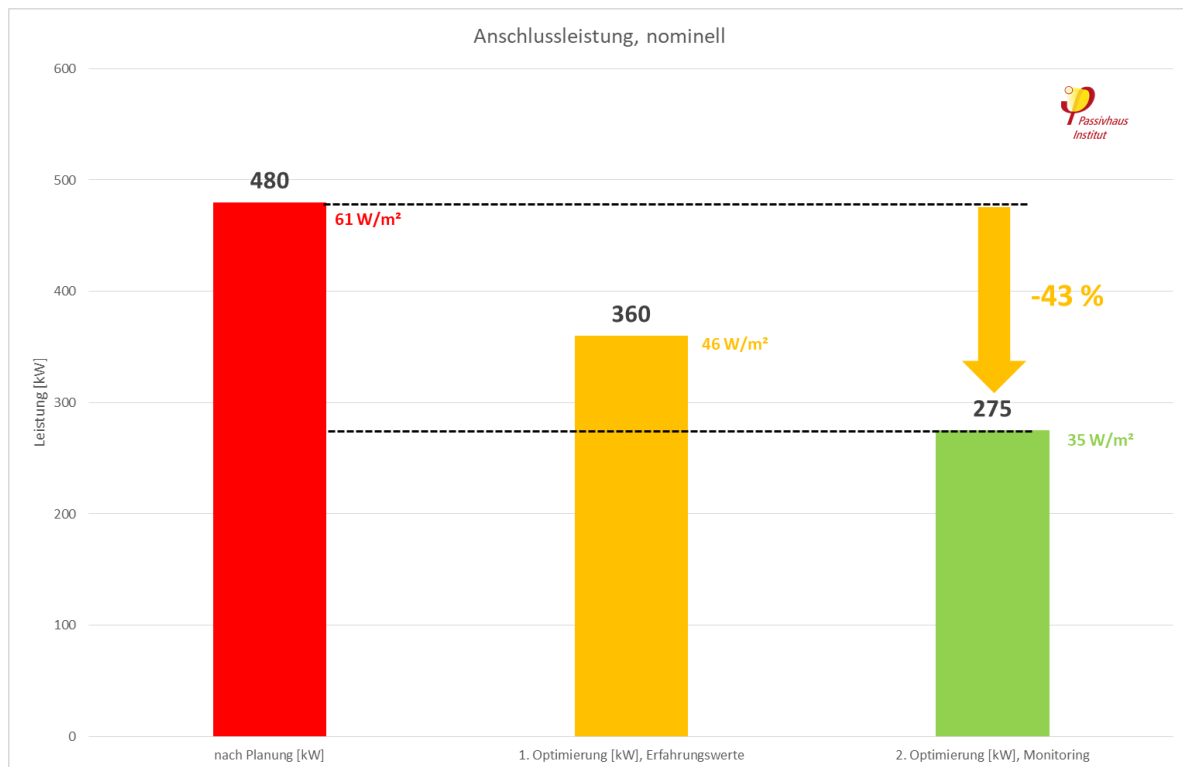


Abb. 17.: Anschlussleistung am Fernwärme-Netz der Stadtwerke Heidelberg. Der von der Planung zunächst vorgesehene Wert von 480 kW wurde bereits empirisch auf 360 kW reduziert. Es besteht weiter gehendes Potential für bis zu 275 kW

Die Kritik an den Verfahren der EN12831 ist alt und wurde schon vielfach vorgetragen, da es hier zu systematischer Überdimensionierung in einem wirtschaftlich kaum zu rechtfertigenden Maß kommt. Im Anhang 7.1 unter dem Abschnitt „Heizlastberechnung“ wird beispielhaft auf die Zusammenfassung aus der [Passipedia], der Wissensdatenbank zum Thema Energieeffiziente Gebäude, verwiesen.

2.3. Trinkwarmwasser-Verbrauch

Der für die Jahre 2017 und 2018 abgerechnete Trinkwarmwasserverbrauch wurde in die Untersuchung aufgenommen. Es wurden die nachfolgend tabellierten Werte mit unterschiedlichen Bezugsgrößen berechnet. Dabei wurde eine Personenbelegung von 40 m²/P angenommen.

Personenzahl	@40m²/P	196 [-]			
Bezugsfläche		7850 m²			
Warmwasser-Verbrauch lt. Abrechnung					
Jahr	m³	m³/(m²a)	m³/(Pa)	l/(Pd)	kWh/(m²a)
2017	1724	0.21961783	8.796	24.1	12.74
2018	1594	0.20305732	8.133	22.3	11.78

Tab. 2: Warmwasserverbrauch gem. hausinterner Abrechnung mit Umrechnungen nach der angesetzten Bewohnerzahl mit 40 m²/P. Die Energie [kWh/(m²a)] wurde unter Annahme von 60°C abgeschätzt.

Messtechnisch wurde belegt, dass im oberen Speicherbereich, aus dem das Trinkwarmwasser entnommen wird, im Mittel eine Temperatur von 60°C anliegt. Es wird vereinfachend angenommen, dass diese auch bis an die Übergabe zur Wohnung fortbesteht und damit der Verbrauch 60-gradigen Wassers abgerechnet wurde.

Die tägliche Warmwassermenge von 24 l/P bzw. 22 l/P 60-gradigen Wassers liegt leicht unterhalb des im PHPP üblichen Planungsansatzes von 25 l/P. Damit werden einerseits die Planungsansätze bestätigt, andererseits kann gefolgert werden, dass die Warmwassernutzung in dem untersuchten Gebäudekomplex als normal einzuschätzen ist. Eine weitere Verbesserung kann ggfs. durch den vermehrten Einsatz von Armaturen mit geringem Durchfluss erreicht werden, insbesondere bei entsprechenden Duschbrausen. Werden durchgängig Brausen mit nur 6 l/min Durchfluss eingesetzt, kann gegenüber von Standard-Szenarien eine Einsparung von bis zu ca. 20 % erreicht werden [AkkP49].

Der in der rechten Spalte von Tab. 2 angegebene Energieverbrauch ist hier als reine Nutzenergie des Warmwassers zu verstehen und nur nachrichtlich angegeben. Es zeigt sich, dass der Warmwasserbedarf in etwa dem Heizenergiebedarf eines Passivhauses entspricht. Da es keine eigenen Wärmehähler für die Warmwasserbereitung gibt sind keine genauen Aussagen zum Gesamt-Energieeinsatz des Warmwassersystems, inkl. dessen Verlusten, möglich. Er könnte näherungsweise bestimmt werden, indem die Wärmeverbrauchswerte der Sommermonate als reine „Warmwassermonate“ auf das Gesamtjahr extrapoliert werden.

2.4. Stromverbrauch

Zum Stromverbrauch des Baufeldes liegen Untersuchungen aus [Orlik 2019] vor. Sie legen nahe, dass der Einsatz elektrischer Energie weitgehend effizient erfolgt und nur geringe Optimierungspotentiale bestehen.

Weitere Anleitungen zum Bereich Strom finden sich in der Checkliste im Anhang 8.2.

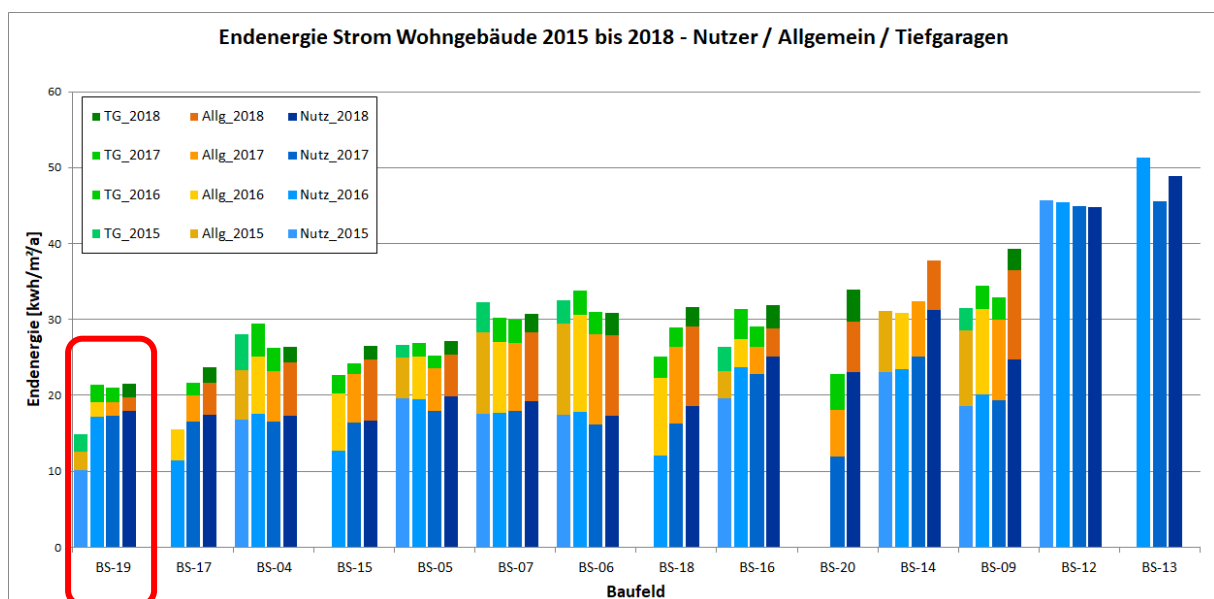


Abb. 18.: Stromverbrauch nach Anwendungen gem. [Orlik 2019]

3. Baufeld BS-07

Die Untersuchungen am ersten Baufeld werden mit der Untersuchung an einem weiteren Baufeld überprüft. Das zweite Baufeld umfasst ebenfalls mehrere große Baukörper mit reiner Wohnnutzung von insgesamt ca. 16.525 m² Energiebezugsfläche und befindet sich im Besitz einer Wohnungseigentümergeinschaft.

3.1. Fernwärme-Anschlussleistung

Die Optimierung des Fernwärme-Anschlusses und Reduzierung der mit einem hohen Anschlusswert einhergehenden hohen Leistungspreise war bereits in der Vergangenheit ein Anliegen der Eigentümergemeinschaft. Daher bestand auch hier die Bereitschaft eine Messung an der Übergabestation durchführen zu lassen.

3.1.1. Monitoring als Datengrundlage

Es wurde das Monitoringsystem installiert, welches in 5-minütigen Intervallen die Daten des zentralen Wärmezählers, sowie Systemtemperaturen im internen Wärmenetz erfasst. Die technische Ausführung entspricht der für das erste Baufeld beschriebenen. Wetterdaten wurden ebenfalls wie zuvor von der oben genannten Station bezogen. Die folgende Darstellung ist kürzer gefasst, da sich das Vorgehen analog zu dem für das vorige Baufeld gewählten Ansatz gestaltete.

Die Datenerfassung begann im Juli 2020, der vorliegenden Auswertung liegen Daten bis Anfang Dezember 2020 zu Grunde. Somit lassen sich wiederum die Lasten mit alleiniger Trinkwarmwasser-Bereitung (inkl. Aller Verteil- und Speicherverluste) und des zusätzlichen Raumheizungs-Betriebs darstellen.

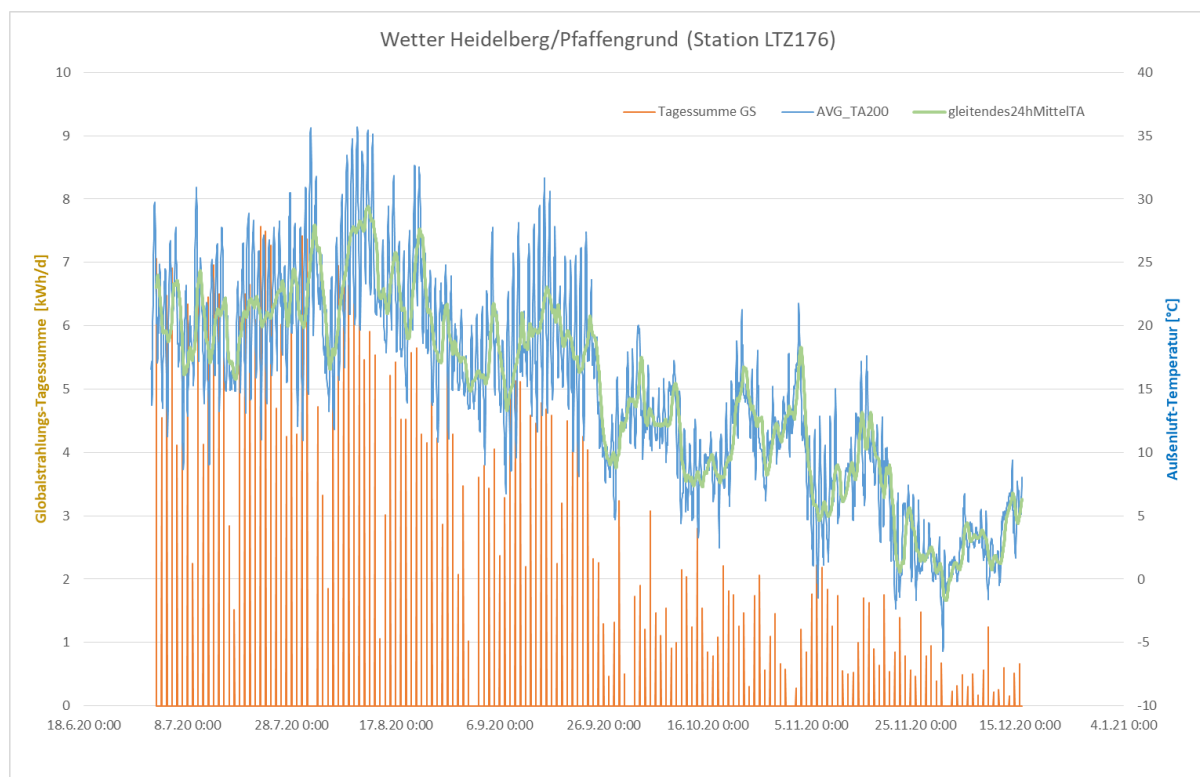


Abb. 19.: Verlauf der Außenluft-Temperatur (blau) und tägliche Globalstrahlungssummen (orange)

Das warme Sommerwetter endete zunächst im späten September 2020 mit einem begrenzten Kälteeinbruch, die Außenlufttemperaturen stiegen danach jedoch wieder merklich an. Das Solarangebot

ging, der Jahreszeit entsprechend, immer weiter zurück. Winterliche Temperaturen setzten ca. Anfang November ein.

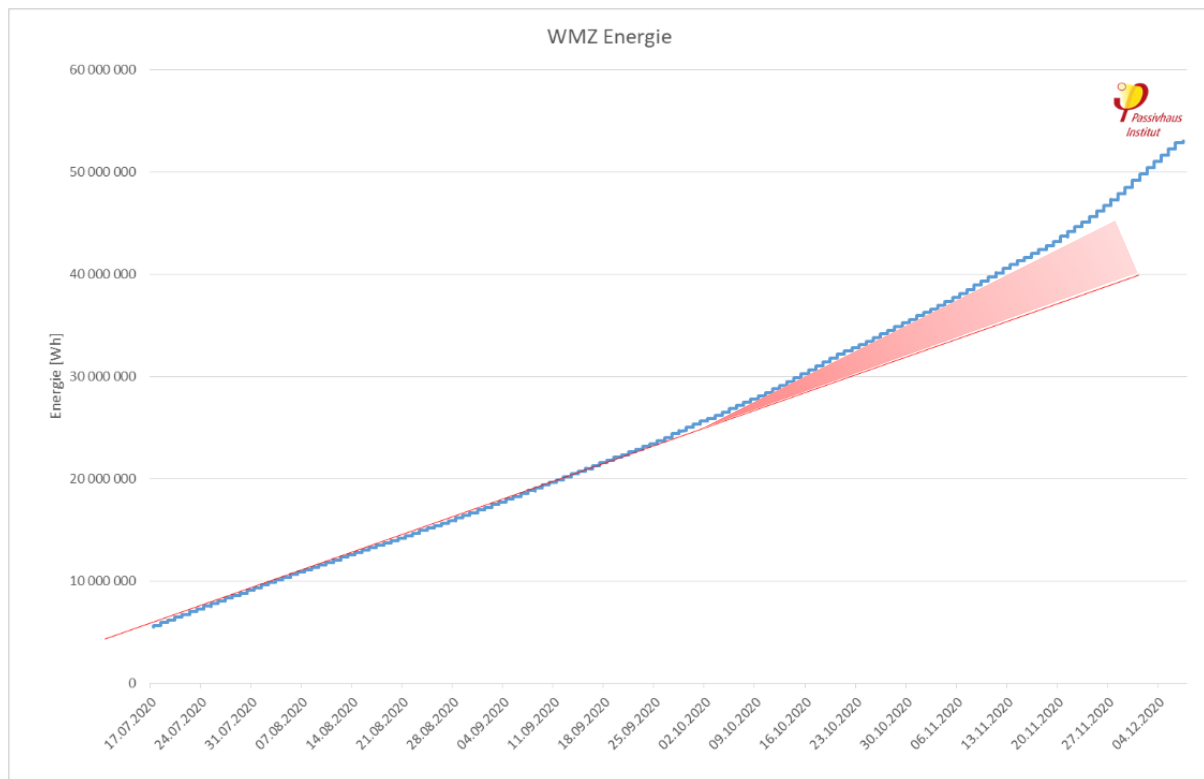


Abb. 20.: Aufsummierter Bezug von Wärmeenergie aus dem Netz der Stadtwerke Heidelberg für das Baufeld BS-07. Der Beginn der Heizperiode ist durch den stärkeren Anstieg ab etwa Anfang Oktober erkennbar.

Die Schulferien dauerten vom 30.07.2020 bis 11.09.2020, was urlaubsbedingt einen leicht verminderten Warmwasserverbrauch erwarten ließ, in 2020 durch Infektionsschutzmaßnahmen und verminderte Reisetätigkeit (SARS-CoV-19) jedoch in abgeschwächter Form (Abb. 22). Erst gegen Ende September vergrößert sich die Steigung der Energieverbrauchs-Kurve merklich, die Heizperiode wird durch einen plötzlichen Temperaturabfall und gleichzeitig geringes Solarstrahlungsangebot eingeleitet.

Aus [Orlik 2019] sind für das untersuchte Baufeld Daten zum maximalen, stundenmittleren Leistungsbezug verfügbar, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich. Die maximal aufgetretene flächenspezifische Leistung beträgt demnach 22 W/m^2 . Auch hier bestätigt sich die vorgeschlagene Leistungsauslegung von um 20 W/m^2 .

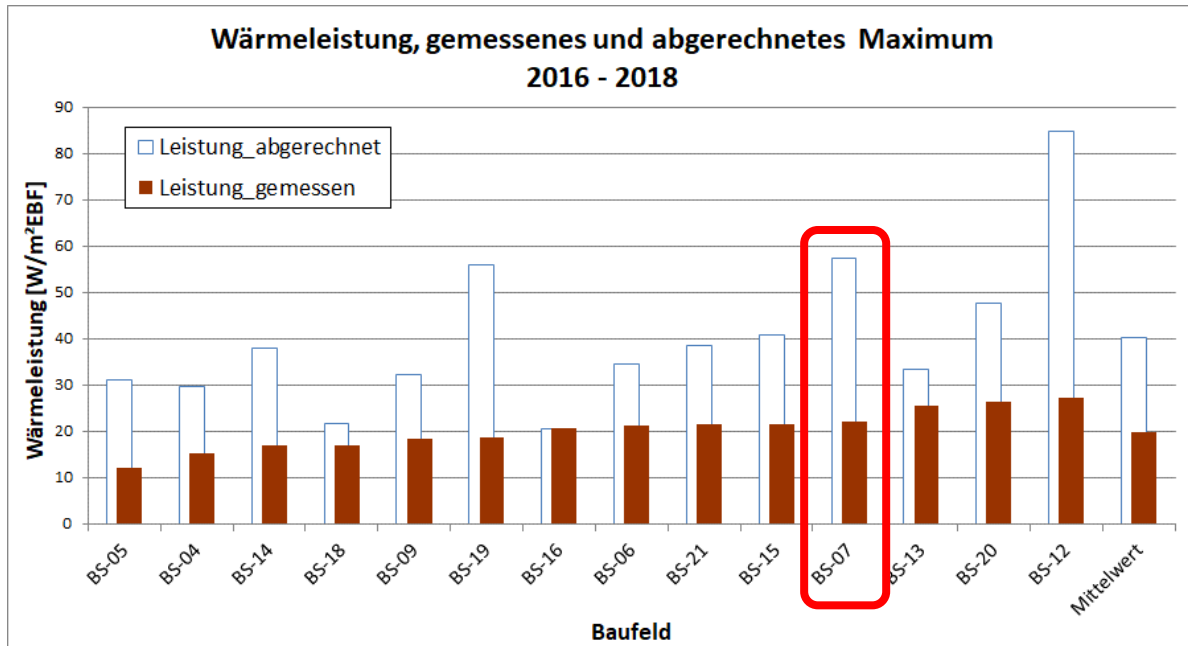


Abb. 21.: Maximale bezogene Leistung (Maximalwerte aus den WMZ der Übergabestationen) und ursprünglich angeschlossene Maximalleistung (Quelle [Orlik 2019]). Das hier näher untersuchte Baufeld BS-07 ist mit dem roten Kasten markiert.

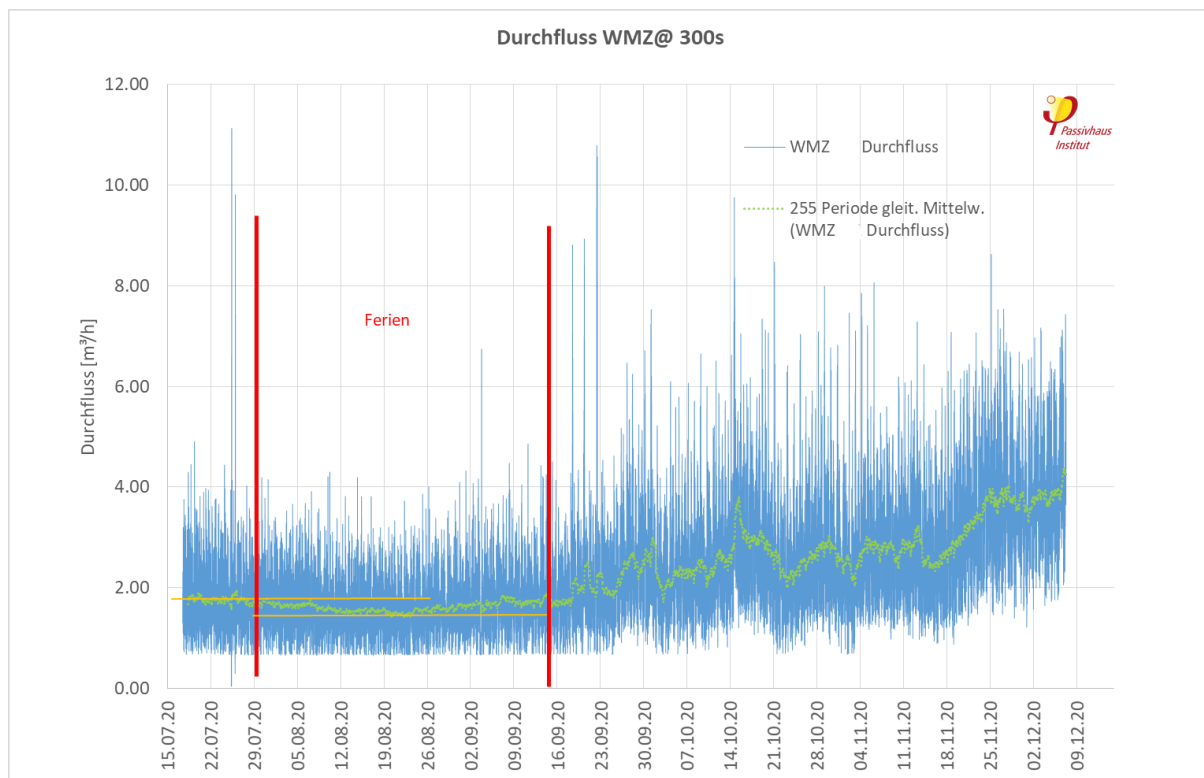


Abb. 22.: Durchfluss [m³/h] aus dem Netz der Stadtwerke Heidelberg. Nach dem Ende der Sommerferien nimmt die Dynamik deutlich zu.

Der vorhandene Wärmezähler Itron CF Echo II lässt eine vollständige Auslesung aller aktuellen Werte im 5-Minuten Abstand zu. Somit bilden die gewonnenen Werte die Dynamik des Leistungsbezuges noch kleinteiliger ab als in dem vorigen Baufeld.

Die am Wärmezähler erfassten Durchflussmengen in Abbildung 22 verhalten sich während des Sommers wie erwartet gleichförmig, was insbesondere nach der Glättung als gleitender Mittelwert (grün, ca. Tagesmittel) ins Auge fällt. Im Anschluss an die Ferienzeit tritt eine überraschende Dynamik hervor, die durch das Wettergeschehen nicht begründet sein kann. Daher werden ergänzend die Systemtemperaturen betrachtet:

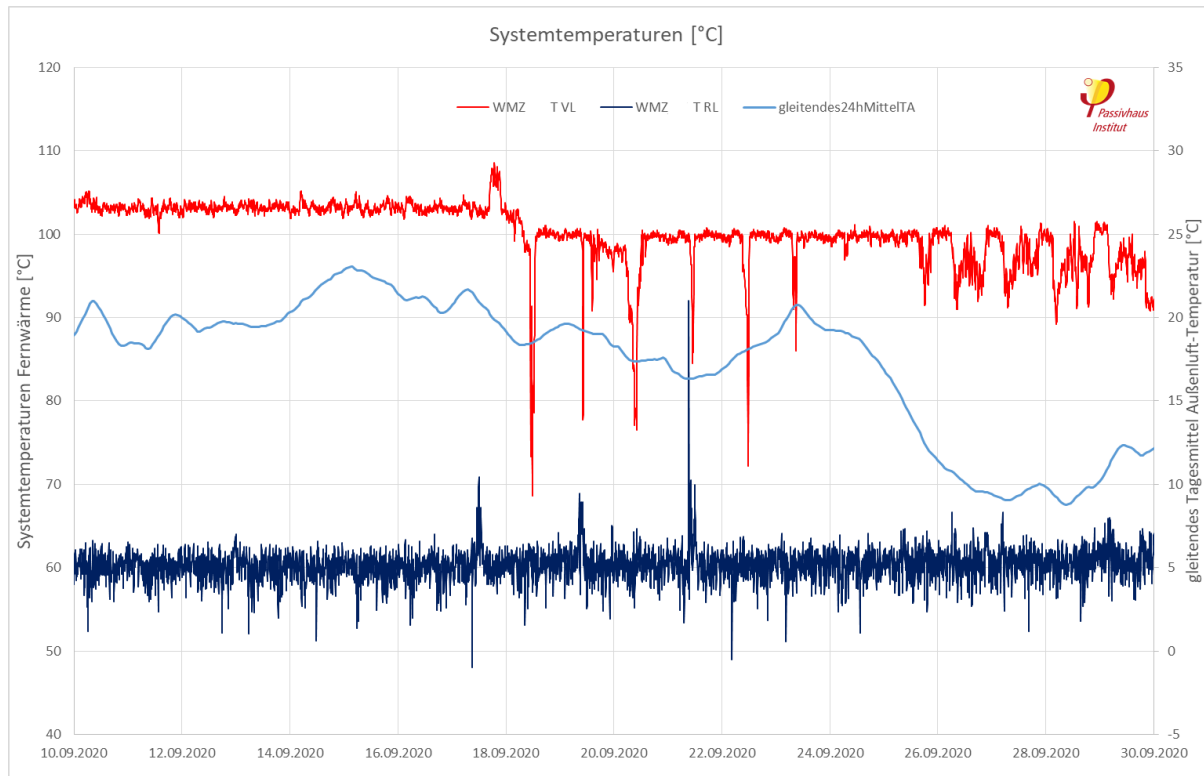


Abb. 23.: Systemtemperaturen im Netz der Stadtwerke Heidelberg, gemessen am WMZ der Übergabestation. Nach dem 17.09.2020 treten im Vorlauf Unregelmäßigkeiten auf, die nicht durch das Wettergeschehen (Raumheizung) erklärt werden können. TA = Außentemperatur.

Ein Blick auf die Systemtemperaturen des Fernwärmesystems zeigt, dass ab dem 17. September Unregelmäßigkeiten durch Temperaturschwankungen des Vorlaufs auftreten. Auch sind die Maxima der Vorlauftemperatur von diesem Zeitpunkt an um einige Kelvin geringer als im Sommer. Immer wieder zeigen sich kurzzeitige Einbrüche der Vorlauftemperatur, was auf eine Betriebsunterbrechung im Fernwärmenetz hinweisen kann. Etwa ab dem 23.09. stabilisiert sich der Betrieb wieder. In etwa zur Zeit des Kälteeinbruchs zum Ende des Monats (25.09.2020) zeigt sich eine abermals andere Dynamik in der Vorlauftemperatur des Stadtwerke-Netzes.

Wenngleich zunächst keine plausible Erklärung für diese Beobachtungen vorliegt, begründen sie immerhin die beobachteten Durchfluss-Änderungen, da das Heizungssystem des Baufeldes die verminderte Vorlauftemperatur mit höherem Durchfluss kompensiert, bzw. das Wiederaufheizen nach den beobachteten Unterbrechungen eine vergrößerte Leistungsanforderung zur Folge hat.

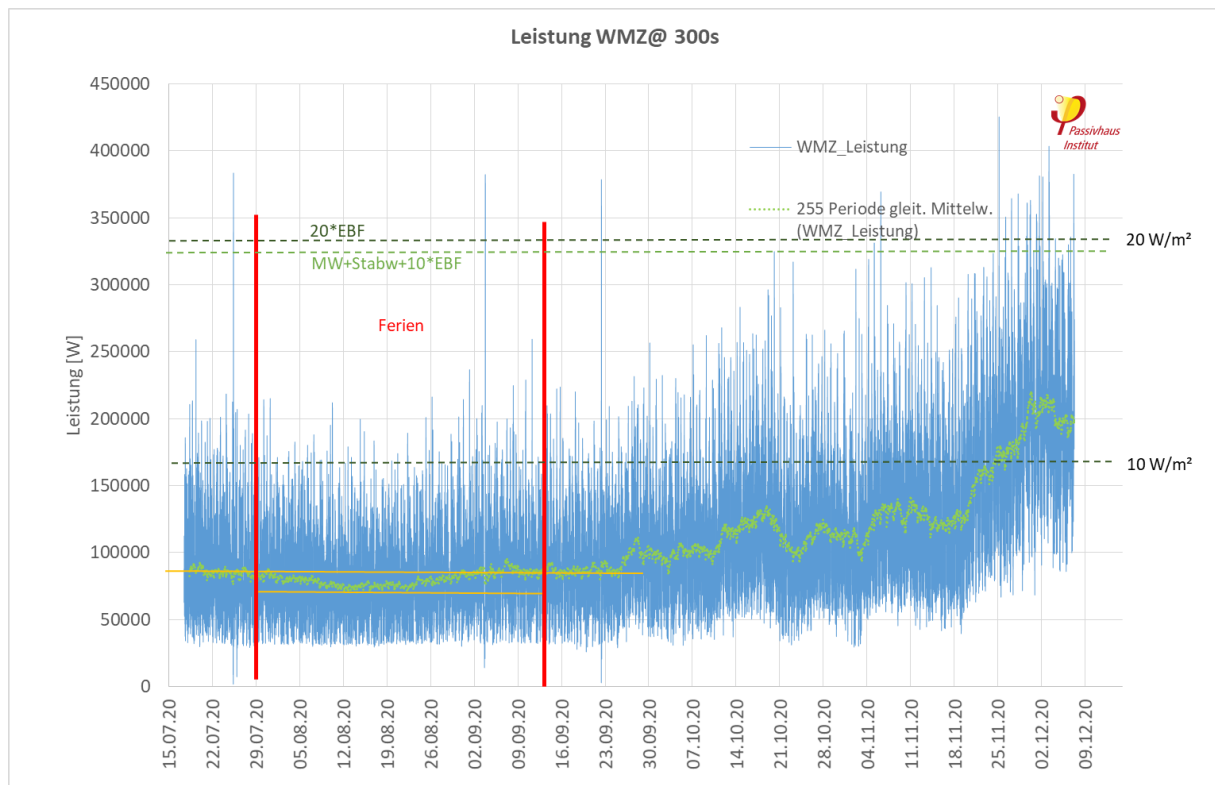


Abb. 24.: Bezug von Wärmeleistung aus dem Netz der Stadtwerke Heidelberg. Der Beginn der Heizperiode ist durch den Anstieg der grünen Kurve (24 h Mittelwerte) leicht erkennbar. Die Grenze von 20 W/m² Auslegungsleistung ist nachrichtlich mit dargestellt. Ebenso ein analytischer Ansatz basierend auf dem Mittelwert der gemessenen Leistungen zuzüglich der Standardabweichung und addiert mit einer Heizlast von 10 W/m².

Legt man daher den Fokus auf die bezogene Leistung, sind viele der zuvor auffälligen Spitzen verschwunden oder deutlich gedämpft. Mit Blick auf die tagesmittleren Leistungen zeigt sich ein Minimum in der Ferienzeit, was auf Abwesenheit eines Teils der Bewohner bzw. veränderte Lebensgewohnheiten im Hochsommer zurückgeführt werden könnte. Gleichzeitig zeigt sich auch hier, dass ein Minimum der Leistung niemals unterschritten wird. Diese Systemverluste betragen etwa 30-40 kW oder gut 2 W/m². Dies entspricht in sehr guter Näherung dem Ergebnis aus dem ersten Baufeld.

	Absolut [W]	Flächenspezifisch (EBF) [W/m ²]
Mittelwert	107140	6.5
Standardabweichung	52453	3.2
Minimum	2000	0.1
Maximum	424900	25.7
Quartil 1	69100	4.2
Median	93400	5.7
Quartil 3	132900	8.0

Tab. 3: Statistische Kennwerte der aufgezeichneten Leistungs-Zeitreihe aus BS-07.

Um den maximalen Leistungsbedarf einzuordnen sind in Abb. 24 zusätzlich eingetragen die Grenze von 20 W/m² als verdoppelte Raumheizlast (für Passivhäuser ca. 10 W/m²) im Sinne einer einfachen „Daumenregel“.

Zusätzlich dargestellt ist eine statistische Auswertung der Leistungen im Gesamtzeitraum (arithmetischer Mittelwert, MW) zuzüglich der einfachen Standardabweichung als Sicherheit und der Raumheizlast von 10 W/m^2 . Der Gesamtbetrag von 19.7 W unterscheidet sich nur wenig von der Abschätzung gemäß „Daumenregel“.

Die tageszeitliche Dynamik über eine Woche reinen Warmwasser-Betriebs (Sommer) ist im Folgenden dargestellt (Abb. 25). Auch hier zeigen sich die Spitzen am jeweiligen Morgen der Wochentage, wenngleich deutlich weniger ausgeprägt als in dem vorigen Baufeld. Durch die mehr als doppelt so große versorgte Fläche in diesem Baufeld liegt die Vermutung nahe, dass sich hier die größere Streuung im Verhalten einer größeren Anzahl Nutzer widerspiegelt (geringerer Gleichzeitigkeitsfaktor).

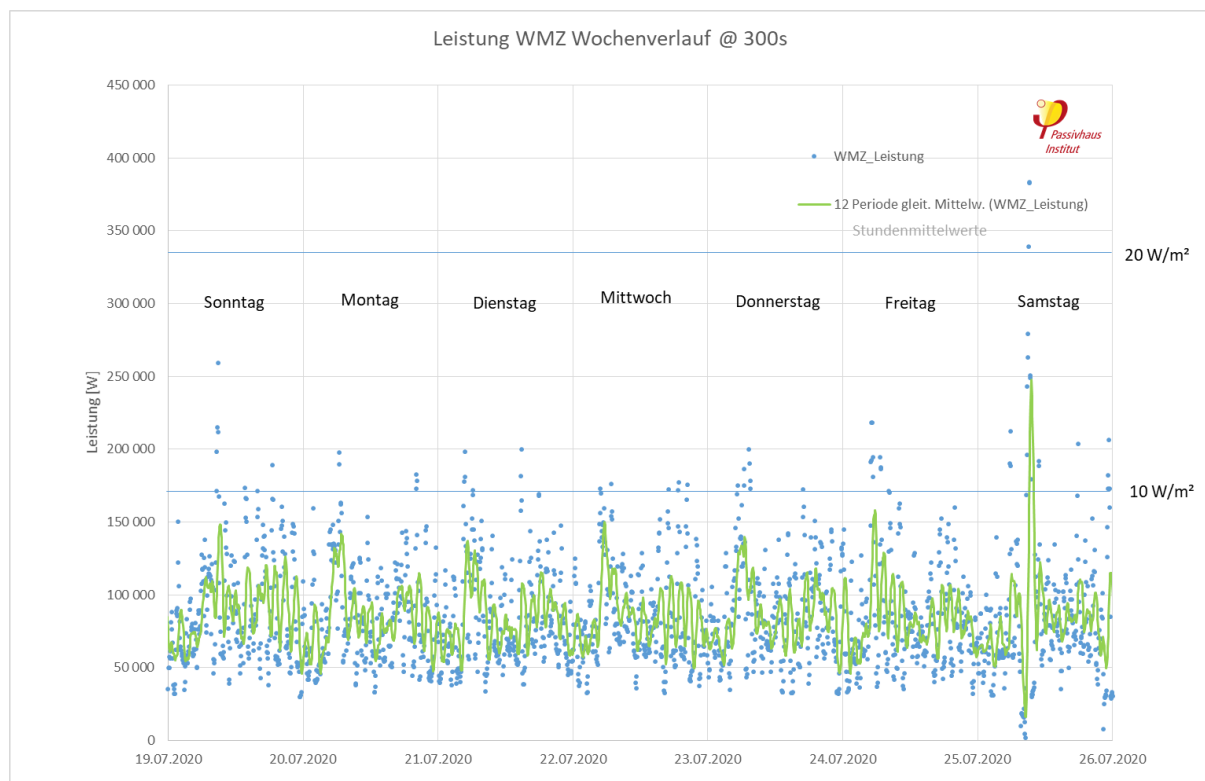


Abb. 25.: Bezug von Wärmeleistung aus dem Netz der Stadtwerke Heidelberg in einer Sommerwoche vor Beginn der Ferien mit reiner Warmwasserbereitung. In grün zu stundenmittleren Werten aggregiert.

Um die Darstellung des konkreten Falls vergleichbar zu machen wurden die Werte auch hier zum Vergleich flächenspezifisch aufgetragen (Abb. 26).

Stundenmittlere Werte bleiben im Normalbetrieb stets deutlich unter 10 W/m^2 . Am Samstagmorgen wird eine Spitze beobachtet. Diese ist auf einen vorausgehenden Einbruch der Vorlauftemperatur im Netz der Stadtwerke zu erklären (Wiederaufheizung) und entspricht keiner realen Anforderung. Auch hier überschreitet die stundenmittlere Leistung nicht den Wert von 15 W/m^2 .

Bei Annahme einer Belegungsdichte von $40 \text{ m}^2/\text{P}$ ergibt sich ein Leistungsbedarf für die Warmwasserbereitung und Abdeckung der Systemverluste von ca. 370 W/P .

Ein Auslegungswert der Anschlussleistung (real) auf 20 W/m^2 für Passivhäuser mit Warmwasservorrang erscheint somit auch zur Bewältigung von Betriebsstörungen als angemessen.

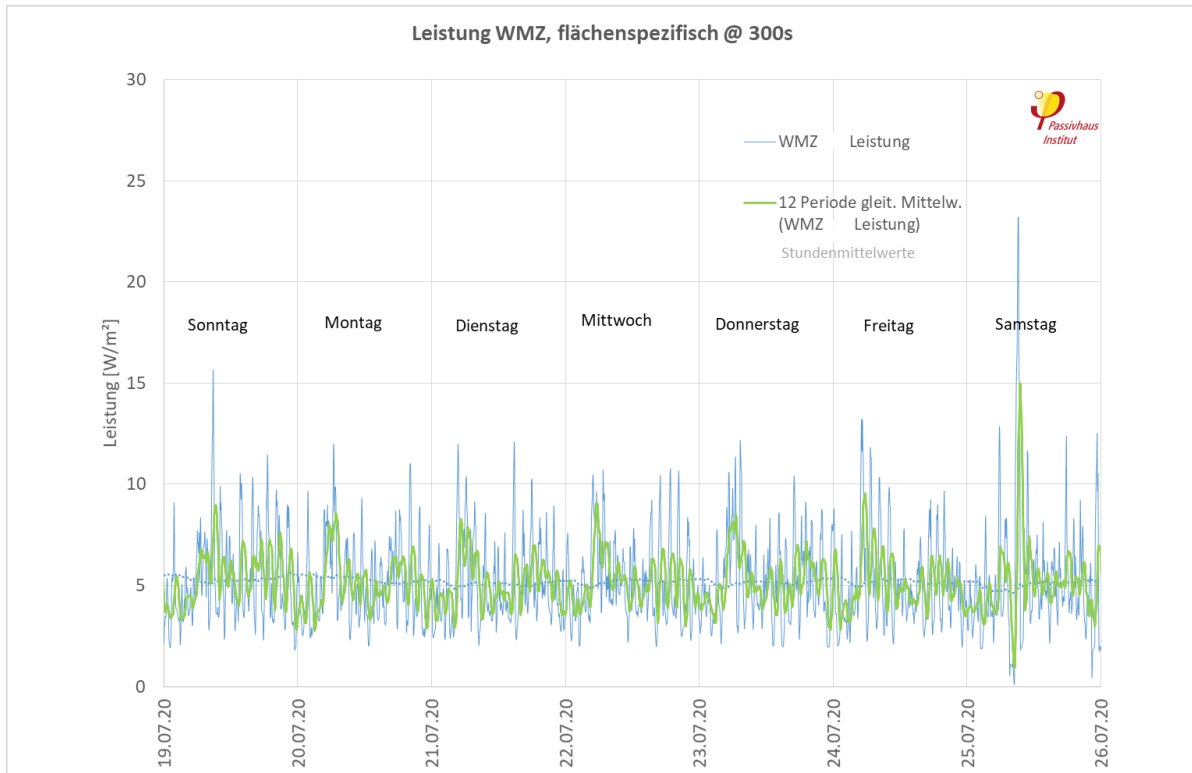


Abb. 26.: Bezug von Wärmeleistung in einer Sommerwoche vor Beginn der Ferien, flächenspezifisch aufgetragen; reine Warmwasserbereitung (inkl. Verluste durch Verteilung und Speicherung). In grün zu stundenmittleren Werten aggregiert.

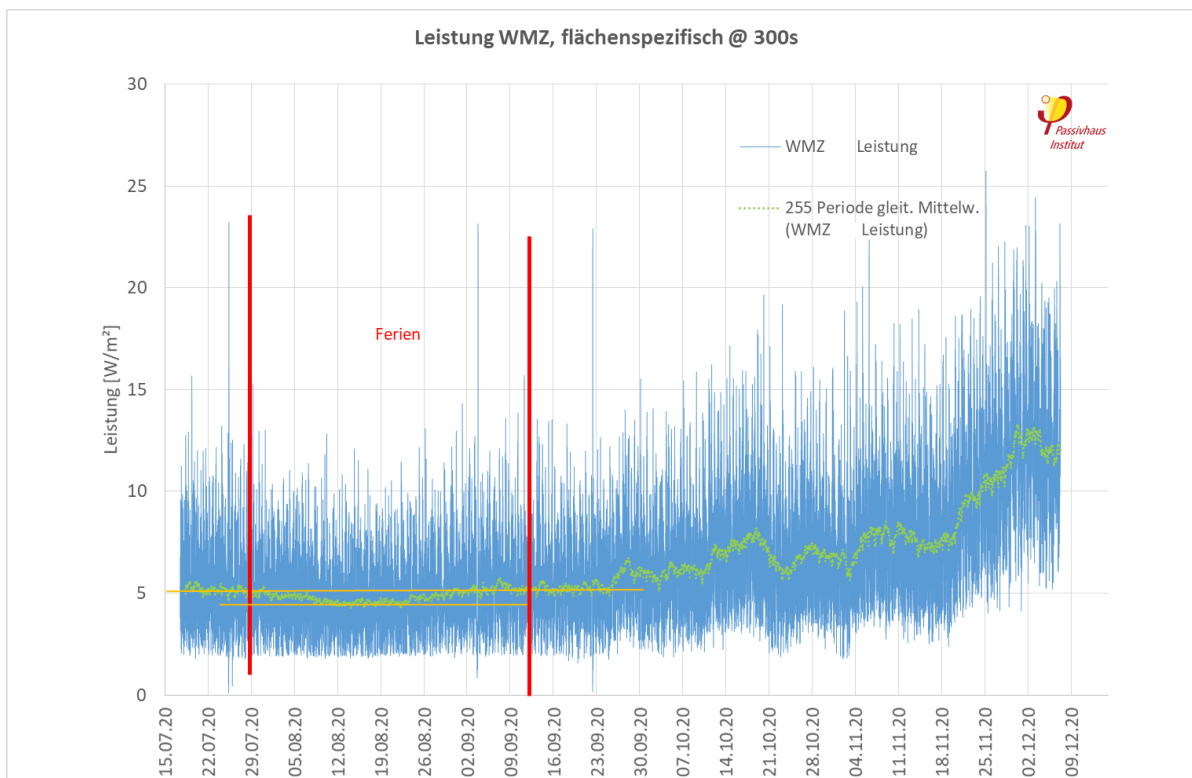


Abb. 27.: 5-Minuten Messdaten der bezogenen Wärmeleistung des Baufeldes, flächenspezifisch aufgetragen (Energiebezugsfläche). In grün sind wieder die 24 h Mittelwerte dargestellt. Der Beginn der Heizperiode ist durch den Kurvenanstieg gut erkennbar.

Werden die bezogenen Leistungen flächenspezifisch (Energiebezugsfläche) aufgetragen, ergibt sich im Überblick der Messperiode ein sehr ähnliches Bild wie bereits im Baufeld BS-19. Eine Auslegungsleistung von 20 W/m^2 (effektiv) erscheint auch hier als angemessene und sichere Größenordnung. Kurzzeitige Überschreitungen spielen aufgrund der hohen Zeitkonstanten (Trägheit) der Gebäude und der Warmwasserspeicher keine nennenswerte Rolle.

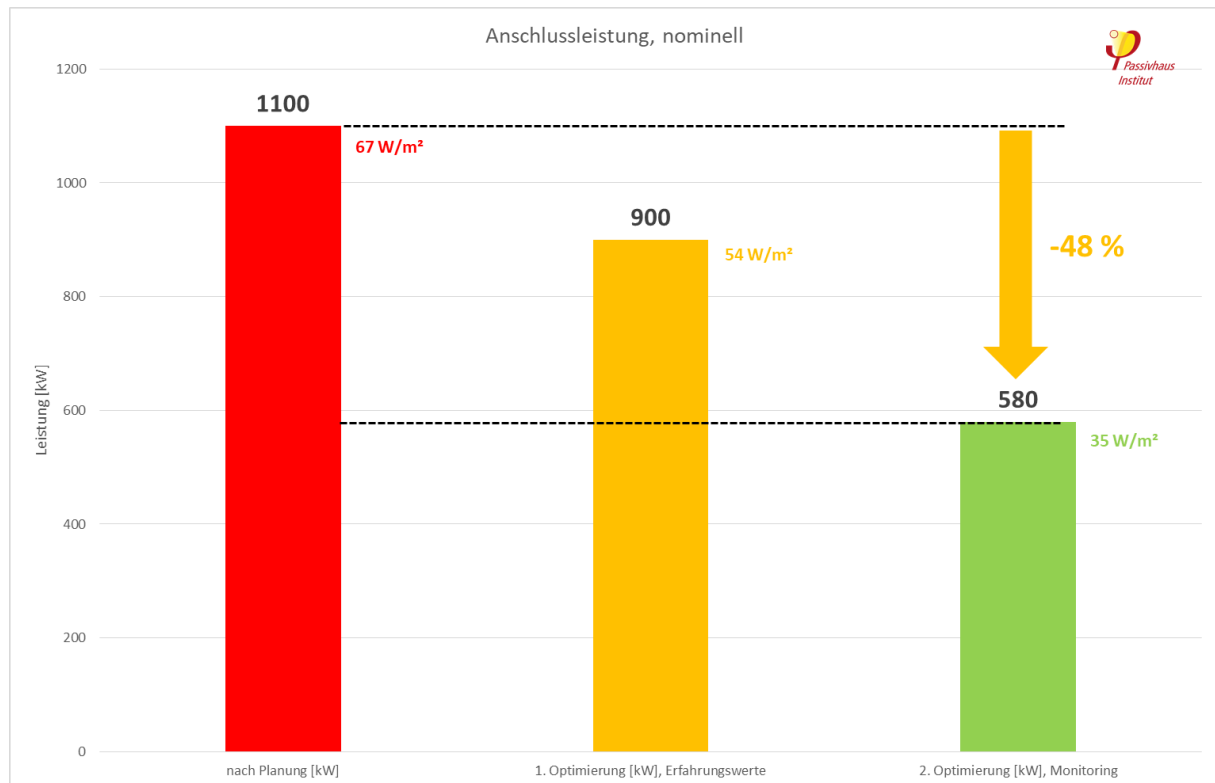


Abb. 28.: Anschlussleistung am Fernwärme-Netz der Stadtwerke Heidelberg. Der von der Planung zunächst vorgesehene Wert von 1100 kW wurde bereits empirisch auf 900 kW reduziert. Es besteht weiter gehendes Potential für bis zu 580 kW.

Die von der Planung vorgesehene Anschlussleistung von 1100 kW stellt sich mithin als groteske Überdimensionierung dar und auch die zwischenzeitlich empirisch begründete Reduzierung auf 900 kW erscheint noch deutlich überdimensioniert. Selbst die gemessenen kurzzeitigen Maxima überschreiten 400 kW nur im Ausnahmefall, so dass eine Reduzierung auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes denkbar erscheint. Auch dies ist im Kern das gleiche Ergebnis wie im zuvor untersuchten Baufeld.

4. Optimierung von Fernwärme-Anschlussleistungen

Ausgangspunkt der Untersuchungen war die Frage, ob die untersuchten Fernwärme-Anschlussleistungen an Wohngebäuden im Passivhausstandard vermindert werden können. Dies hätte Vorteile für die Nutzer, indem deutlich geringere Entgelte über den Leistungspreis abzurechnen wären. Es profitierte aber auch der Versorger, der keine Infrastruktur für rein virtuelle Anschlussleistung bereit halten müsste und weitere freie Kapazitäten erhält.

Wie sich zeigte, waren in beiden untersuchten Fällen große Potentiale vorhanden, die gegenüber der ursprünglichen Planung eine Halbierung der Anschlussleistung möglich erscheinen lassen.

Weiter zeigte sich, dass die monatsweise erfassten Maximalleistungen durch die in kürzeren Intervallen erhobenen Daten validiert werden und somit als Ausgangspunkt für eine evidenzbasierte Anpassung der Anschlussleistung dienen können.

Die Untersuchungen in [Orlik 2019] legen nahe, dass in weiten Teilen des Passivhaus-Quartiers Bahnstadt ähnliche Optimierungsmöglichkeiten bestehen, eine systematische Untersuchung erscheint lohnend.

Da nicht immer solche detaillierten Auswertungen von Stichtags-Zählerwerten vorliegen, wurde auch eine von [Mainova] vorgeschlagene, besonders einfache Prüfung untersucht. Die nicht spezifisch an Passivhäusern orientierte Methode schlägt vor, den Quotienten aus abgerechneter Energie und nomineller Anschlussleistung, also einen Wert der „Jahres-Vollbenutzungsstunden“, als Maß für die Ausnutzung des Anschlusses heranzuziehen. Der Vorteil besteht darin, dass die benötigten Werte jeder Jahresabrechnung entnommen werden können. Naturgemäß stellt das Verfahren aber nur eine allererste Näherung an die Frage nach Optimierungspotentialen dar.

Nutzungsgrad	Vollbenutzungsstunden
effiziente Anschlussnutzung	>1200
Mittlere Anschlussnutzung, Optimierung ggfs. möglich	800-1200
Optimierungspotential vorhanden Beratung suchen	<800

Tab. 4: Bewertungsschema für Jahres-Volllaststunden gemäß [Mainova]

Wird diese Berechnung als erste Abschätzung auf die beiden oben untersuchten Baufelder angewendet, ergibt sich für die untersuchten Baufelder folgendes Bild:

"Mainova" Abschätzung						
Baufeld				kW	kW	kW
BS-19	Jahresverbrauch		Anschlussleistung	480 Planungsleistung	360 Reduzierung 1	240 Reduzierung 2 (Ziel)
	353250	kWh/a	Volllaststunden	736	981	1472
				kW	kW	kW
BS-07	Jahresverbrauch		Anschlussleistung	1100 Planungsleistung	900 Reduzierung 1	550 Reduzierung 2 (Ziel)
	1157670	kWh/a	Volllaststunden	1052	1286	2105

Tab. 5: Jahres-Volllaststunden gem. [Mainova] für die untersuchten Baufelder der Bahnstadt

Wie sich zeigt, ist die Einordnung in die drei Bewertungskategorien im ersten Fall (Baufeld BS-19, 7.850 m²_{EBF}) in recht guter Übereinstimmung mit den Erkenntnissen der hier durchgeführten Messungen. Im zweiten Fall (Baufeld BS-07, 16.525 m²_{EBF}) ist die Übereinstimmung weniger gut.

Es ist davon auszugehen, dass das von [Mainova] vorgeschlagene Verfahren an kleineren Gebäuden orientiert ist, im Merkblatt wird ein Beispiel mit einer Anschlussleistung von 7,5 kW behandelt. Gleichwohl scheint es für eine allererste Orientierung auch bei größeren Gebäuden bis etwa 10.000 m² einsetzbar. Die sehr einfache Berechnung und Zuordnung von entsprechenden Hinweisen könnte automatisiert in die Jahresabrechnung eingefügt werden.

4.1. Nennleistung Fernwärmeanschluss vs. realer Leistungsbezug

Durch die messtechnische Untersuchung der real bezogenen Leistungen wird die Frage aufgeworfen, welche nominelle, also beim Versorger formell bestellte Leistung der real bezogenen Leistung entspricht.

Historisch treten bei Gebäuden mit geringem Wärmeschutz die weitaus größten Leistungen im Winter auf, die Raumbeheizung stellt die dominante Größe bei Leistungsbezug und Jahresarbeit dar. Wie in den vorliegenden Messungen ein weiteres Mal deutlich wird, ist dies bei Gebäuden im Passivhaus-Standard nur noch sehr gedämpft zu beobachten. Hier sind die Beträge für Raumbeheizung und Trinkwarmwasserbereitung hinsichtlich Leistungsbedarf und Jahresarbeit von ähnlicher Größenordnung, vielfach überwiegt sogar die Trinkwarmwasser-Bereitung. Dies bedeutet, dass die benötigte Wärmeleistung einen sehr gedämpften Jahresgang aufweist und zudem beträchtliche Teile der Jahresarbeit und mehr als die Hälfte der Gesamt-Leistung außerhalb der Heizperiode abgerufen werden.

Die Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz der Stadtwerke Heidelberg ist aber über das Jahr nicht konstant, auch die Rücklauftemperatur schwankt etwas. Die Vorlauftemperatur im Sommer liegt etwa 30 K niedriger als im Winter. Somit ist die nutzbare Temperaturdifferenz im Sommer deutlich geringer als im Winter. Die nominelle Kapazität eines Fernwärmeanschlusses wird auf die maximale, im Winter und bei kalter Witterung vom Versorger garantierte Vorlauftemperatur bzw. Temperaturdifferenz (70 K) bezogen, wobei der maximale Durchfluss konstant bleibt. Historisch war die damit real verfügbare Leistung gut mit dem im Winter stark vergrößerten Wärmebedarf von (wenig gedämmten) Gebäuden korreliert. Für Passivhäuser ist der Anstieg der Wärmeleistung im Winter jedoch nur gering oder, andersherum, die im Sommer verbleibende Wärmenachfrage im Verhältnis sehr groß.

Es wurde daher eine beispielhafte Berechnung für den Fall des Baufeldes BS-19 angestellt, um aus der real nachgefragten Leistung die beim Versorger zu bestellende nominelle Leistung zu ermitteln.

Bei konstantem Durchfluss hängt die verfügbare Leistung von der Spreizung/Temperaturdifferenz von Vorlauf und Rücklauf ab. Die nominelle Leistung eines Anschlusses bestimmt sich gemäß der Lieferbedingungen der Stadtwerke Heidelberg nach der größten verfügbaren Temperaturdifferenz bei mittleren Außentemperaturen unter -12°C aus $120^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C}$ also 70 K. Das Verhältnis aus tatsächlich verfügbarer und nomineller Temperaturdifferenz ist in diesem Fall 1.

Bei gemäßigten Winterverhältnissen beträgt die Temperaturdifferenz noch $105^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$ oder 50 K. Das Verhältnis aus tatsächlich verfügbarer und nomineller Temperaturdifferenz ist in diesem Fall nur mehr $50\text{ K} / 70\text{ K} = 0,71$. Es stehen also nur noch gut 71 % der Nennleistung zur Verfügung.

Außerhalb der Heizperiode beträgt die Temperaturdifferenz $75^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C}$ oder 25 K. Das Verhältnis aus tatsächlich verfügbarer und nomineller Temperaturdifferenz ist in diesem Fall nur mehr $25\text{ K} / 70\text{ K} = 0,36$. Es stehen also nur noch 36 % der Nennleistung zur Verfügung.

			Spreizung [K]	Leistungsfaktor [-]	benötigte Leistung [kW]	nominelle Leistung [kW]
Sommer VL	75					
Sommer RL	50	Sommer	25	0.36	100	280
Winter VL	120 bei -12°C					
Winter VL	105 effektiv, Normalbetrieb		50	0.71	180	252
Winter RL	50 bei -12°C	Winter	70	1	180	180
Winter RL	55 effektiv, Normalbetrieb					

Tab. 6: Berechnung der Nennleistung des Fernwärmeanschlusses bei gegebener Leistungsabnahme

Aufgrund der im Sommer verminderten Temperaturdifferenz im Fernwärmenetz erweist sich der sommerliche Wärmebedarf sogar als für die Dimensionierung des Anschlusses ausschlaggebend, die reale und die unter sommerlichen Betriebsbedingungen dafür erforderliche nominelle Leistung unterscheiden sich um den Sommerfaktor $1/0,36 = 2,8$. Im Winter ergibt sich der Faktor zwischen effektiver und nomineller Leistung zu $1/0,71 = 1,4$, allerdings steht im Auslegungsfall die volle nominelle Leistung zur Verfügung.

Eine überschlägige Bestimmung des benötigten Anschlusses könnte daher so aussehen:

2 W/m^2 Systemverluste + 10 W/m^2 TWW Bereitung = 12 W/m^2 effektive Sommerleistung
 Sommerleistung * 2,8 Sommerfaktor = 34 W/m^2 **nominelle Anschlussleistung, rund 35 W/m^2 .**

Dies deckt dann auch den winterlichen Betrieb mit ab:

2 W/m^2 Systemverluste + 10 W/m^2 TWW Bereitung + 10 W/m^2 Heizlast (Auslegungsfall)= 22 W/m^2
 effektive Winterleistung im Auslegungsfall

Winterleistung * 1,4 Winterfaktor Auslegungsfall = $30,8 \text{ W/m}^2$

Dabei ist allerdings noch anzunehmen, dass die Systemverluste zu einem beträchtlichen Teil mindernd auf die Heizlast wirken, was eine zusätzliche Sicherheit in die Betrachtung einführt.

Für die beispielhaft behandelten Baufelder ergeben sich bei 35 W/m^2 die folgenden nominellen Anschlussleistungen:

Baufeld BS-19	7.850 m ²	275 kW
Baufeld BS-07	16.525 m ²	580 kW

Tab. 7: Angepasste Nennleistung des Fernwärmeanschlusses für die untersuchten Baufelder

Damit scheint eine einfache und angemessene Herangehensweise an die Bedarfsanpassung von Fernwärmeanschlüssen in Wohn- und Verwaltungsgebäuden der Bahnstadt Heidelberg gefunden. Tatsächlich unterschreiten die meisten Gebäude in der Bahnstadt diese theoretischen Werte seit vielen Jahren (siehe Abb. 14), so dass auch hier wieder genügend Sicherheit besteht. Voraussetzung für dieses Verfahren sind Gebäude im Passivhausstandard, deren Betrieb durch fachgerechte Inbetriebnahme keine groben Unregelmäßigkeiten aufweist.

Bei denjenigen Baufeldern, für die nach [Orlik 2019] deutlich höhere Leistungsbezüge als 20 W/m^2 gemessen wurden, wird eine Ermittlung der genauen Zeiträume und Ursachen dieser hohen Leistungswerte empfohlen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass hier Werte in die Berechnungen eingegangen sind, die auf Unregelmäßigkeiten im Betrieb zurückgehen und somit nicht als Grundlage für die Auslegung herangezogen werden sollten. Finden sich auf diesem Weg keine plausiblen Erklärungen sollten technische Fehlfunktionen im Rahmen einer vor-Ort Überprüfung ausgeschlossen werden, sofern nicht aus einer Besonderheit der Gebäudenutzung ein erhöhter Leistungsbedarf erwartet werden kann.

5. Betriebsoptimierung Wärme

Wie bei allen Gebäuden ist die Basis einer energiesparenden Betriebsweise eine an das jeweilige Gebäude und deren Nutzung angepasste Einstellung aller Regelparameter für Heizung, Lüftung, und Trinkwarmwasser. Für Passivhäuser gilt insbesondere, dass der Raum-Heizbetrieb in der Regel erst ab Außentemperaturen unter 12°C beginnt. Bei den untersuchten Baufeldern zeigte sich, dass die Einstellungen im Regelfall schon recht gut an die Nutzung angepasst waren. Hier wurden seitens engagierter Bewohner im Einvernehmen mit der jeweiligen Wohneigentümergeinschaft (WEG) bereits deutliche Verbesserungen gegenüber den Standardeinstellungen bei Betriebsübergabe vorgenommen, beispielsweise das Abschalten von Heizungspumpen abhängig vom tatsächlichen Bedarf.

Hierzu wurde eine Checkliste (siehe Anhang 8.2) erarbeitet, um allen Interessierten eine Orientierung für eine optimierte Einstellung und Nutzung an die Hand zu geben. Die Checkliste richtet sich einerseits an engagierte Hausbewohner, Hausmeister, Verwaltungen aber auch an Fachpersonal der Haustechnikgewerke. Zum Wärmeverbrauch der Baufelder liegen Untersuchungen aus [Orlik 2019] vor. Sie zeigen, dass der Einsatz der Wärmeenergie zur Beheizung mit einem mittleren Heizenergiekennwert von 18,3 kWh/m²a bereits sehr effizient erfolgt.

Die Bandbreite lag hier in 2018 zwischen 12,4 und 29,6 kWh/(m²a). Diese Bandbreite zeigt auf, dass bei einigen Baufeldern weiteres Potential zur Energie- und Kosteneinsparung genutzt werden kann, wie dies unter Kapitel 5. Betriebsoptimierung aufgezeigt wird. Bei den untersuchten Baufeldern BS19 und BS07 wurden erste Optimierungen bereits vorgenommen, die erste positive Auswirkungen im Jahr 2019 zeigen.

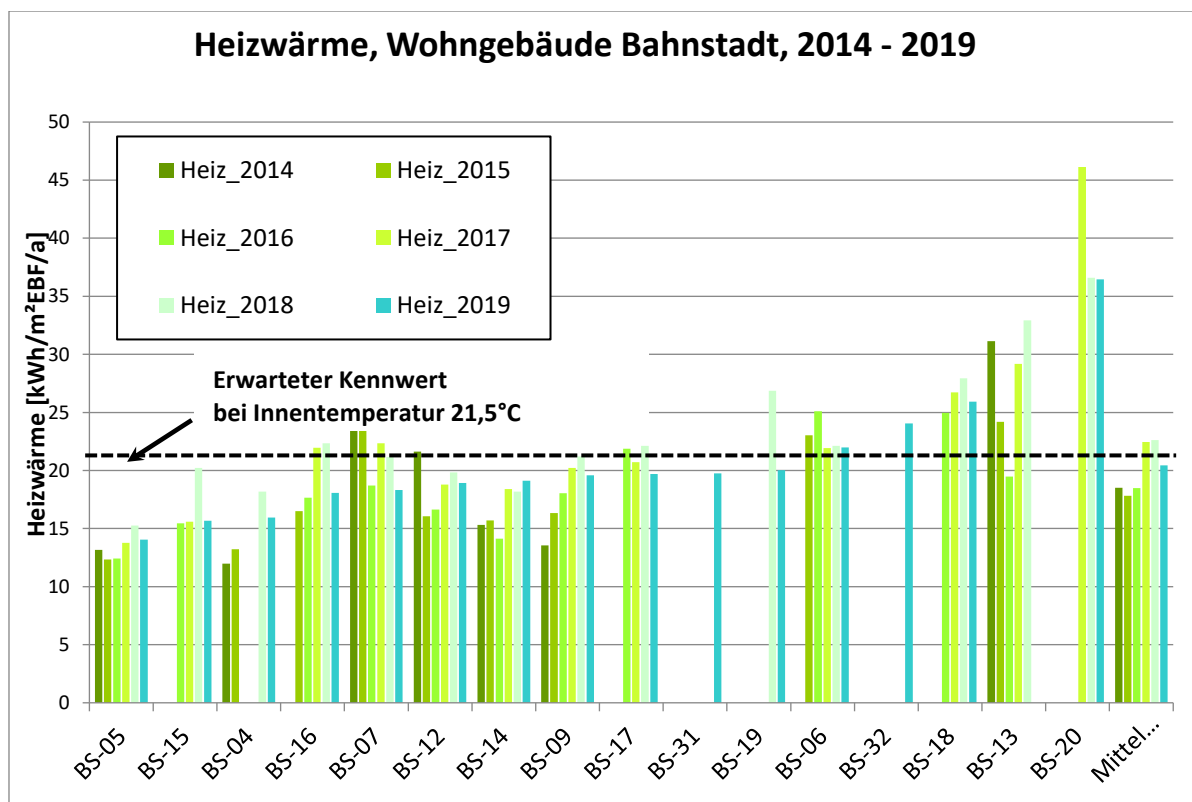


Abb. 29.: Heiz-Wärmeverbrauch gem. [Orlik 2019], ergänzt durch Daten 2019

6. Zusammenfassung

Die zeitaufgelöste Erfassung des Wärmebezugs aus dem Fernwärmenetz der Stadtwerke Heidelberg für zwei Baufelder der Bahnstadt Heidelberg bestätigt die automatisiert in den Wärmezählern erfassten Werte für stundenmittlere Maximalleistungen. Diese geben auch die Dynamik des Leistungsbezuges hinreichend gut wieder und können somit zur Beurteilung der tatsächlich nachgefragten Leistungen herangezogen werden.

Die effektiv nachgefragten Leistungen liegen in den Spitzen bei ca. 12 W/m² im Sommer und ca. 22 W/m² im Winter. Dies bestätigt auch empirisch die für Passivhäuser berechneten geringen Werte. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die hier vorliegende Versorgung ganzer Baufelder mit nur einem FW-Übergabezähler die Verteilverluste vergrößert. Dieser „Sockel“ ist in den Messwerten bereits enthalten und vergrößert die Sicherheit der Leistungsangabe gegenüber einzeln versorgten Objekten.

Historisch treten bei Gebäuden mit geringem Wärmeschutz die weitaus größten Leistungen im Winter auf, die Raumbeheizung stellt die dominante Größe bei Leistungsbezug und Jahresarbeit dar. Wie in den vorliegenden Messungen ein weiteres Mal deutlich wird, ist dies bei Gebäuden im Passivhaus-Standard nur noch sehr gedämpft zu beobachten. Hier sind die Beträge für Raumbeheizung und Trinkwarmwasserbereitung hinsichtlich Leistungsbedarf und Jahresarbeit von ähnlicher Größenordnung, vielfach überwiegt sogar die Trinkwarmwasser-Bereitung. Dies bedeutet, dass die benötigte Wärmeleistung einen sehr gedämpften Jahresgang aufweist und zudem beträchtliche Teile der Jahresarbeit und mehr als die Hälfte der Gesamt-Leistung außerhalb der Heizperiode abgerufen werden.

Aufgrund der nicht konstanten Vorlauftemperatur des FW-Netzes ergibt sich ein deutlicher Unterschied aus tatsächlicher Leistungsabnahme und nomineller Anschluss-Kapazität, da sich diese auf die maximale Vorlauftemperatur während Kälteperioden bezieht.

Ein Richtwert zur überschlägigen Bestimmung der erforderlichen nominellen Anschlussleistung zu 35 W/m² wurde abgeleitet und erlaubt nun eine einfache Überprüfung der Fernwärme-Anschlüsse. Der Wert darf aber nicht mit der tatsächlich benötigten Leistung der Gebäude verwechselt werden.

Überkapazitäten bringen hohe Zahlungen für bereitgestellte Anschlussleistung für die Bewohner mit sich, die durch die Anpassung der Anschlüsse an reale Erfordernisse eingespart werden können. Gleichzeitig befreit es die Stadtwerke Heidelberg von der Pflicht unnötige Reservekapazitäten vorzuhalten, was für den Netzbetreiber mit erheblichen Kosten verbunden ist. Ohne Ausbau der Erzeugerkapazität können dann mehr Abnehmer versorgt werden.

Um nachträgliche Optimierungsprozesse abzukürzen sollte die Auslegung der Fernwärmeanschlüsse für neue Passivhaus-Projekte von vorneherein am tatsächlichen Bedarf orientiert werden. Ein möglicher Weg könnte in der Anmeldung von Anschlüssen eine Begründungspflicht für Anschlüsse mit mehr als 35 W/m² beheizter Wohnfläche (EBF) sein.

Die Beschreibung von Fernwärmeanschlüssen über die in seltenen Kälteperiode maximal verfügbare Leistung unterscheidet sich bedeutend von der in relevanten Zeiträumen in Passivhäusern real nachgefragten Leistung. Dies führt vielfach zu Verwirrung und ist für Gebäude-Eigentümer nur schwer verständlich. Es könnte darüber nachgedacht werden, in Passivhaus-Baugebieten hierfür zukünftig eine andere Systematik anzuwenden. Etwa könnte die Kapazität eines Anschlusses für die sommerlichen Betriebsbedingungen des Fernwärmenetzes ausgewiesen werden, was einen direkten Vergleich dieser Anschluss-Kapazität mit der im Sommer real nachgefragten Leistung erlauben würde. Um die

geringen Raum-Heizlasten in Passivhäusern abzudecken, würde zudem eine vergleichsweise geringe Temperaturerhöhung im Winter ausreichen. Dies könnte Netzverluste weiter senken.

Zumindest wäre eine Umrechnungshilfe, etwa auf einer Webseite der Stadtwerke, eine hilfreiche Orientierung: Hier könnte die real verfügbare Leistung im Sommer, Herbst und Kernwinter für einen gegebenen Wert der Anschlusskapazität ausgewiesen werden. Dies in absoluten Zahlen und, nach Eingabe einer Bezugsfläche, auch flächenspezifisch. Die Empfehlung von 35 W/m² kann als Vorschlag direkt mit eingearbeitet werden.

Bei der Untersuchung der Baufelder BS-07 und BS-19 wurde deutlich, dass die Vorschläge aus dem Wärmeversorgungskonzept für die Bahnstadt [ebök 2007] nicht oder nur in sehr geringem Umfang Beachtung gefunden haben. Insbesondere wurden die Möglichkeiten durch den flexiblen Betrieb der Baufeld-internen „Mininetze“ nicht ausgeschöpft. Bei neuen Bauvorhaben und wesentlichen Änderungen an den technischen Anlagen von bestehenden Baufeldern sollte dieses Optimierungspotential genutzt werden.

Mit der im Anhang 8.2 aufgeführten Checkliste steht für alle Interessierten eine Handhabe für eine optimierte Einstellung von Regelparametern und für die Nutzung von Gebäuden zur Verfügung. Die Checkliste richtet sich einerseits an engagierte Hausbewohner, Hausmeister, Verwaltungen aber auch an Fachpersonal der Haustechnikgewerke.

7. Literatur

[AkkP-25] Temperaturdifferenzierung in der Wohnung; Protokollband Nr. 25 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III; Passivhaus Institut; Darmstadt 2004

[AkkP-28] Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus; Protokollband Nr. 28 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III; Passivhaus Institut; Darmstadt 2004

[Bisanz 1999] Bisanz, C.: Heizlastauslegung im Niedrigenergie- und Passivhaus, 1. Auflage, Darmstadt, Januar 1999 [AkkP49] Dr. Wolfgang Feist (Hrsg.): Energieeffiziente Warmwassersysteme, Protokollband 49 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt 2015

[DIN EN 12831] DIN EN 12831: Heizungssysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast Deutsche Fassung EN 12831; Beuth Verlag; Berlin

[DIN 4701] Deutsches Institut für Normung: DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden; Beuth Verlag; Berlin 1995

[ebök 2007] „Baugebiet Bahnstadt in Heidelberg – Städtebauliches Energie- und Wärmeverorgungskonzept“, Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte ebök, Tübingen, Olaf Hildebrandt, Andreas Praeffcke, Gerhard Lude und Rosemarie Hellmann, November 2007

[Feist/Werner 1993] Feist, W. und Werner, J.: Erste Messergebnisse aus dem Passivhaus Darmstadt Kranichstein; gi 114 (1993) Heft 5 Seite 240 ff

[Feist/Loga 1997] Feist, W. und Loga, T.: Vergleich von Messung und Simulation. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 5, Passivhaus Institut, Darmstadt 1997

[Feist 2005] Feist, W.: Heizlast in Passivhäusern – Validierung durch Messungen. Endbericht. IEA SHC TASK 28 / ECBCS ANNEX 38. Passivhaus Institut, Darmstadt 2005

[Kaufmann/Feist 2001] Kaufmann, B. und Feist, W.: Vergleich von Messung und Simulation am Beispiel eines Passivhauses in Hannover-Kronsberg. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 21, Passivhaus Institut, enercity, Hannover 2001

[Linder 2019] Linder, M. Hrsg.: Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2019, Stadt Frankfurt a.M. <https://energiemanagement.stadt-frankfurt.de/Investive-Massnahmen/Leitlinien-wirtschaftliches-Bauen/Leitlinien-wirtschaftliches-Bauen.pdf>

[Mainova] Leitfaden zur Überprüfung der Anschlussleistung Ihrer Fernwärme-Übergabestation, <https://www.mainova.de/resource/blob/24120/3c2331ad0a91ae349d2e3bd3a65df768/leitfaden-anschlussleistung-24062020-data.pdf>, abgerufen 24.03.2021

[Orlik 2019] Orlik, W.: Energie-Monitoring der Jahre 2014 bis 2018 für die Wohngebäude im Passivhaus-Stadtteil Heidelberg-Bahnstadt, Klimaschutz- und Energie-Beratungsagentur Heidelberg – Rhein-Neckar-Kreis gGmbH, Heidelberg 2019, online, https://www.heidelberg-bahnstadt.de/site/HD_Satelliten/get/documents_E-1541707986/heidelberg/Objektdatenbank/Bahnstadt/heidelberg-bahnstadt.de/Pdf/Energie-Monitoring-2014-2018%20in%20der%20Passivhaussiedlung%20Bahnstadt%20KliBA.pdf

[Peper 2016] Peper, S.: Energie-Monitoring von Wohngebäuden im Passivhaus-Stadtteil Heidelberg-Bahnstadt, Passivhaus Institut, Darmstadt 2016

[PHPP] PassivHaus Projektierungs Paket, Passivhaus Institut, Darmstadt,
https://passiv.de/de/04_phpp/04_phpp.htm

[RfN] Ideenwettbewerb „Baukultur, Wohnen und Nachhaltigkeit“ des Fonds Nachhaltigkeitskultur für
das Projekt „Bahnstadt – Nach dem Bauen kommt das Leben und Arbeiten im Passivhausstadtteil,
<https://www.tatenfuermorgen.de/fond/?fondid=175>

8. Anhang

8.1. Heizlastauslegung

Zitat aus www.Passipedia.de (Stichwort Heizlast)

„Da das Verfahren seit Langem eingeführt ist, scheint es naheliegend zur Ermittlung der Raumheizlast [EN 12831] einzusetzen. Es zeigte sich aber in der Praxis sehr schnell, dass das dort normierte Verfahren bei hocheffizienten Gebäuden wie dem Passivhaus zu extrem überdimensionierten Auslegungen führt. Die Ursachen dafür sind (neben im Grundsatz leicht änderbaren „Besonderheiten“, die nicht das Verfahren, aber die gewählten Zusatzbedingungen betreffen, wie beispielsweise, dass U-Werte von Außenbauteilen immer mit mindestens $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt werden müssen).

Innere Wärmequellen und die gerade bei sehr tiefen Außentemperaturen bedeutenden solaren Energiebeiträge werden in der Norm nur unzureichend berücksichtigt. Gerade bei Gebäuden mit sehr geringer Heizlast spielen diese freien Wärmen jedoch auch im Auslegungsfall eine bedeutende Rolle. „Keine inneren Lasten“ gibt es nur, wenn auch keine Nutzer anwesend sind und damit auch nur geringere Anforderungen zu stellen sind. Sind Nutzer anwesend, die Komfortansprüche erheben, so gibt es regelmäßig auch innere Wärmequellen; möglicherweise in geringer Höhe, aber nicht mit dem Ansatz „Null“. Das bedingt gerade bei Gebäuden mit guter Dämmung einen entscheidenden Unterschied.

Gebäude mit sehr kleinen Heizlasten haben regelmäßig sehr hohe Gebäudezeitkonstanten (mehr als 5 und bis über 30 Tage). Dadurch werden kurzzeitige extreme Wetterbedingungen für das Passivhaus unbedeutend (das Gebäude geht praktisch darüber hinweg) und die Auslegungsparameter beziehen sich eher auf längere Zeitperioden. Diese Tatsache war auch den Verfassern älterer Normwerke (wie DIN 4701) bereits bekannt, wurde aber nicht auf Gebäude mit sehr langen Zeitkonstanten ausgedehnt und schließlich sogar in der neueren Normung gar nicht mehr berücksichtigt.

Die raumweise Ermittlung der Heizlast ist schon bei konventionellen Gebäuden mit hohen Unsicherheiten behaftet, die daraus resultieren, dass schon bei relativ kleinen Temperaturdifferenzen zwischen den Räumen die inneren Wärmeströme bedeutender sein können als die Wärmeverluste nach außen. Dieser Effekt verstärkt sich im Passivhaus noch entscheidend. Aus diesem Grund macht die raumweise Ermittlung der Heizlast in Passivhäusern in der Regel keinen Sinn; eine wohnungs- oder gebäudeweise Berechnung ist zuverlässiger und in der Regel ausreichend. Genauere Untersuchungen dazu finden sich in [AkkP 25].

Probleme bei der Berechnung der Heizlast für sehr gut wärmedämmte Gebäude

Die Praxis zeigte, dass die in wissenschaftlich begleiteten Projekten tatsächlich gemessenen Heizleistungen in sehr gut wärmedämmten Gebäuden eine obere Leistungsbegrenzung aufweisen, die auch bei extrem niedrigen Außentemperaturen viel niedriger liegt als die Auslegungsleistung nach der herkömmlichen Normung [DIN 4701]. Erstmals publiziert wurde dies in [Feist/Werner 1993] an Hand von gemessenen täglichen Heizwärmeverbrauchswerten im Passivhaus Darmstadt-Kranichstein. Die gemessenen tagesmittleren Heizlasten „knicken“ nach diesen Ergebnissen unterhalb von Tagesmitteltemperaturen von ca. 0 °C in einen waagrechten Verlauf ab. Dieser Zusammenhang wurde in [Feist/Werner 1993] korrekt durch solare Energiebeiträge in den kälteren Wetterperioden erklärt und in [Feist 2005] ausführlicher diskutiert. Damit stand fest, dass eine Vernachlässigung der Solarbeiträge bei der Heizlastberechnung insbesondere in sehr gut wärmedämmten Gebäuden keine korrekten Ergebnisse mehr erbringen kann.

Es war daher erforderlich, einen gegenüber den eingeführten Verfahren verbesserten Algorithmus für die Heizlastbestimmung zu entwickeln. Methodisch einwandfrei ist dabei immer eine instationäre Simulation des thermischen Verhaltens des Gebäudes. Damit lassen sich nicht nur die Heizlasten, sondern auch die Jahresbedarfswerte zuverlässig ermitteln. In [Feist/Loga 1997] und [Kaufmann/Feist 2001] wurde die Validität solcher instationärer Modellrechnungen im Vergleich zu Messwerten überprüft – anhand des Zeitverlaufs von Raum-, Oberflächen- und Bauteiltemperaturen. Diese Untersuchungen zeigten, dass sich bei korrekter Modellbildung eine sehr gute Übereinstimmung von Mess- und Simulationswerten ergibt. Es

ist daher zulässig, grundsätzliche Untersuchungen mit dem Instrumentarium der thermischen Gebäudesimulation durchzuführen. Selbstverständlich müssen die Ergebnisse aber vor allem dann, wenn sie von der herkömmlichen Auffassung abweichen, auch experimentell überprüft werden. Der entscheidende Nachteil der Verwendung von instationärer thermischer Gebäudesimulation ist die hohe Komplexität der zugrunde liegenden Modelle. Abgesehen vom hohen Arbeitsaufwand für die Erstellung und Auswertung solcher Simulationsrechnungen resultiert hieraus eine vergleichsweise große Fehleranfälligkeit: Die Zahl der in das Simulationsmodell eingehenden Parameter ist sehr groß und damit steigen auch die potentiellen Fehlerquellen bei der Erstellung der Modelle. Es war daher wünschenswert, auch für die Bestimmung der Heizlast wieder ein vergleichbar einfaches Verfahren verfügbar zu haben, wie es mit dem Monatsverfahren aus ISO 13790 bereits für die Ermittlung des Jahresheizwärme- und kühlbedarfes vorliegt.

Entwicklung des Berechnungsmodells

Diese Aufgabenstellung wurde vom Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser angegangen und in Kooperation mit der Universität Stuttgart (Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik) sowie dem Ingenieurbüro ebök gelöst. Die entscheidenden Ansätze sind in der Diplomarbeit von Carsten Bisanz mit dem instationären Modell DYNBIL untersucht worden [Bisanz 1999]. Das in dieser Kooperation entwickelte Verfahren beruht in den Grundzügen auf Energiebilanzen nach dem Schema der DIN EN 832, allerdings mit Randbedingungen, welche nicht Jahres- oder Monatsdaten, sondern die Auslegungszeiträume des betreffenden Klimas berücksichtigen. Als entscheidend hat sich herausgestellt, dass eine Auslegung mit mindestens zwei unterschiedlichen Auslegungsdatensätzen erfolgen muss, nämlich einer „kalten und strahlungsreichen Auslegungsperiode“ und mit einer „mäßig kalten und strahlungsarmen Auslegungsperiode“. A priori steht nämlich gerade bei Gebäuden mit sehr geringem Wärmebedarf nicht fest, ob das Maximum der Heizlast tatsächlich in den extrem kalten Perioden oder aber während eines stark bewölkten, jedoch nur mäßig kalten Zeitraumes vorliegt. Die betreffenden Auslegungsrandbedingungen müssen für jedes Klima funktional mit Hilfe von dynamischen Gebäudesimulationen an Hand von Testdatensätzen ermittelt werden. In [Bisanz 1999] ist dies für die deutschen Testreferenzjahre ausgeführt worden und es erfolgte eine erste theoretische Validierung des Verfahrens mit Hilfe von Simulationsrechnungen.

Das in [Bisanz 1999] entwickelte Verfahren erfüllt die Anforderungen nach Einfachheit und einfacher Verfügbarkeit der zugehörigen Randbedingungen. Daher wurde das Verfahren sowie ausgewählte Randbedingungen versuchsweise bereits 1999 in die zweite Auflage des Passivhaus Projektierungspakets [PHPP 1999] übernommen. Das Verfahren stand zum damaligen Zeitpunkt noch unter dem Vorbehalt der Praxisbewährung, wurde jedoch ab 1999 in einigen tausend Passivhausprojekten angewendet.

Überprüfung des Heizlast-Verfahrens: Modell/Praxis

Im Rahmen des Forschungsprojekts IEA SHC TASK 28 / ECBCS ANNEX 38 wurden Objekte mit insgesamt weit über 200 Wohneinheiten mit Passivhaus-Standard durch wissenschaftlich fundierte messtechnische Begleituntersuchungen detaillierte, zeitlich aufgelöste Daten zum Temperaturverhalten und Heizwärmeverbrauch erhoben [Feist 2005]. Diese Daten sind in unterschiedlichen Auswertestudien bereits unter verschiedenen Gesichtspunkten analysiert worden: Heizwärmeverbrauch, übrige Energieverbrauchswerte, thermische Behaglichkeitsparameter und auch mittlere und maximale Heizleistungen. Ein Teil dieser Daten stand am Passivhaus Institut (PHI) für weitergehende Analysen zur Verfügung, für einen weiteren Teil hat das Institut die Überlassung von Daten von anderen Forschungseinrichtungen erbeten; für die Zustimmung zur Verwendung in der hier vorliegenden Analyse sei den Beteiligten dabei ausdrücklich gedankt. Die zentrale Aufgabenstellung der hier vorgelegten Untersuchung ist die Überprüfung des Heizlast-Verfahrens aus [Bisanz 1999] an Hand dieser in den Feldprojekten gesammelten Messdaten und gegebenenfalls die Modifizierung des Verfahrens.

Wie sich zeigen wird, führen die Feldmessergebnisse zu einer einheitlichen Bewertung: Die mit Qualitätssicherung gebauten Passivhäuser weisen nicht nur tatsächlich die extrem geringen Jahresheizwärmeverbrauchswerte auf, die mittels Simulation und/oder Bilanzverfahren im Voraus bestimmt worden waren, sondern für ihre Beheizung reichen auch die extrem niedrigen Heizleistungen aus, die sich aus der funktionalen Auslegung ergeben.

Die Tatsache, dass innere Wärmequellen und passiv solare Gewinne auch bei der Heizlastberechnung, insbesondere bei Objekten mit gutem Wärmeschutz, berücksichtigt werden müssen, kann auf Basis der Messwerte bestätigt werden.

An Hand gemessener Temperatur- und Heizlastverläufe in ganz besonders gelagerten Einzelfällen (z.B. Winterabwesenheit mit Heizungsabschaltung in einer Wohnung) kann auch das Verhalten in zuvor theoretisch behandelten Sondersituationen nun messtechnisch validiert werden. Auch diese Untersuchungen bestätigen die Simulation.

Aus den Fallstudien und der Simulation ergibt sich eine hohe Temperaturstabilität von Gebäuden mit sehr gutem Wärmeschutz, insbesondere von Passivhäusern. Dies erhöht die Fehlertoleranz sowohl gegenüber Extremereignissen („Jahrhundertwinter“) als auch gegenüber Auslegungsfehlern. Natürlich muss diese Erkenntnis sehr vorsichtig gehandhabt werden: Überschreiten die kumulierten Fehler eine bestimmte Schwelle, so geht neben dem Passivhaus-Standard auch die Gutmütigkeit dieses Standards verloren und die Fehler wirken sich dann umso massiver aus. Daher ist dazu zu raten, die Planungsaufgabe und Qualitätssicherung besonders ernst zu nehmen und die aus einem korrekt geplanten und gebauten Passivhaus resultierende Toleranz für die bessere Behaglichkeit und die Handlungsfreiheit der Bewohner zu nutzen.

Die zentrale Fragestellung dieser Studie betreffend: Die Berechnungsansätze nach dem in [Bisanz 1999] publizierten Verfahren haben sich in allen untersuchten Objekten sehr gut bewährt. Das Verfahren ist damit einem besonderen Härte-test unterzogen worden, denn gerade in Passivhäusern mit ihren extrem geringen Heizlasten ist die Empfindlichkeit gegenüber Einflussgrößen wie der Solarstrahlung besonders groß. Nur in solchen Gebäuden kann man daher ein solches Verfahren überhaupt mit Aussicht auf Erfolg testen, weil bei Objekten mit hohen Heizlasten Einflüsse dieser Größenordnung von anderen Effekten meist überdeckt werden.

Die vorliegende Untersuchung ist ein Beispiel dafür, wie sorgfältig durchgeführte Feldmessungen in Verbindung mit einer wissenschaftlich fundierten Auswertung für die Praxis hilfreiche Ergebnisse liefern. Solche Ergebnisse sind statistisch gesichert und gehen über die heute oft anzutreffenden Einschätzungen „aus dem Bauch heraus“ hinaus. Die Ergebnisse können dennoch in einfach vom Praktiker zu handhabende Verfahren übertragen werden und erleichtern so deren Arbeit.“

8.2. Checkliste Betriebsoptimierung

I. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

1. Außenluft/Fortluft Balance prüfen, maximale Abweichung $\pm 10\%$
2. Regelmäßige Wartung und Austausch der Filter sicherstellen (Filterwechsel mindestens 1x jährlich im Herbst). Außenluftfilter der Klasse F7 bzw. ISO ePM1 50%, Abluftfilter der Klasse G4 bzw. ISO Coarse 60% verwenden
3. Gesamt-Volumenstrom an hygienischen Bedarf angepasst, 20-30 m³/h je Person. Bei größeren Veränderungen der Nutzung prüfen und anpassen.
4. Volumenstrom je Raum prüfen, ggfs. an Nutzung anpassen (üblich: Zuluft: Schlafzimmer 60 m³/h, Kinderzimmer um 20 m³/h, WoZi 40 m³/h. Abluft: Küche 60, Bad 40, WC 20 m³/h)
5. Bei Geräten mit Platten-Wärmeübertrager Frostschutz-Schalttemperatur prüfen (typische Werte liegen bei -3°C...-4°C); bei hydraulischem Vorheizregister den Betrieb der Zirkulationsleitung bzw. Heizkreispumpe an den tatsächlichen Bedarf anpassen und einen Betrieb außerhalb der Heizperiode (Außentemperatur > ca. 10°C) sicher ausschließen. Wenn möglich den betreffenden Heizkreis erst kurz vor der Gefrier-grenze freigeben.
6. Sensoren in Lüftungsgeräten für Temperatur und relative Feuchte der Luft, ggfs. auch CO₂ für eine Luftqualitäts-basierte Regelung sollten regelmäßig kalibriert werden, z.B. alle 2 Jahre. Das gilt insbesondere für Gebäude-zentrale Anlagen, bei denen eine fehlerhafte Regelung aufgrund ungenauer Sensorwerte erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch haben kann. Insbesondere CO₂-Sensoren weisen oftmals eine starke Drift auf.
7. Bypassklappe bzw. Reduzierung der Wärmerückgewinnung im Sommer auf Funktion prüfen. Im Sommer soll kühle Außenluft in den Morgenstunden nicht durch die Wärmerückgewinnung vorerwärmt werden. Eine Regelung auf konstante Zulufttemperatur ist daher nicht zielführend, es genügt eine Untergrenze von 15- 16°C einzuhalten.
8. Ungewollte Aktivierung der Bypassklappe/Reduktion der Wärmerückgewinnung während der Heizperiode ausschließen, damit solare Wärmeeinträge im Winter nicht durch die Lüftung abgeführt werden. Am Einfachsten ist es, die Bypassfunktion bei Außentemperaturen unterhalb ca. 10°C zu deaktivieren, so lange die Ablufttemperatur 25°C nicht überschreitet.
9. Sofern Unterzähler für Stromverbrauch der Lüftungsanlage vorhanden: Mittlere Leistungsaufnahme > 0.45 W je m³ Zuluft-Volumenstrom weist auf Fehler durch erhöhte Druckverluste hin (z.B. Filter verschmutzt, Wärmeübertrager blockiert, Fremdkörper im Kanalnetz, Auslassventile falsch eingestellt, ...)
10. Bei Nichtwohngebäuden
 - a. Tägliche Betriebszeit an Nutzung angepasst, 1 h Vorspülphase vor Betriebsbeginn, Nachts & Wochenende aus
 - b. Abschaltbetrieb mit Filtertrocknung auf Funktion prüfen

II. Anschlussleistung Fernwärme

1. Die von der KliBA aus Daten der Stadtwerke Heidelberg erhobenen monatsweisen Maximalwerte der tatsächlich genutzten Fernwärmeleistung wurden in zwei Baufeldern detailliert überprüft und erwiesen sich als zuverlässig. Es sollte immer auf Werte aus Zeiträumen mit ungestörtem Betrieb Bezug genommen werden.
2. In vielen Fällen sind die Fernwärmeanschlüsse der Baufelder deutlich überdimensioniert, was eine hohe Leistungs-Gebühre nach sich zieht.
3. Eine Anpassung des Anschlusses an den tatsächlichen Bedarf ist für Passivhäuser besonders gut möglich.
4. Zu beachten ist, dass die Leistungsanforderung durch die Warmwasserbereitung dominiert wird und dass die Fernwärme der Stadtwerke im Sommer mit reduzierter Vorlauftemperatur arbeitet. Die tatsächlich benötigte Anschlussleistung der Stadtwerke bezieht sich aber stets auf die im Winter verfügbaren Vorlauftemperaturen. Es muss daher rechnerisch geprüft werden, ob auch für die Trinkwarmwasserbereitung außerhalb der Heizperiode die benötigte Leistung (wie gemessen) zur Verfügung steht.
5. Eine Überschlagsberechnung zur Leistung der Fernwärme findet sich im Abschnitt 7.3

III. Trinkwasser-Erwärmung

1. Warmwasser-Temperatur prüfen, nicht über das hygienische Erfordernis hinausgehen. Üblich sind 60-65°C im oberen Bereich zentraler Speicher eines Mehrfamilienhauses, mit einer wöchentlichen vollständigen Aufheizung auf 70°C zum Schutz vor Legionellen. Die Rücklauftemperatur der Zirkulationsleitung soll nicht weniger als 60°C betragen. Bei größeren Änderungen der Trinkwarmwasser-Anlage kann eine alternative, nicht thermische Legionellenprophylaxe erwogen und die Systemtemperatur ggfs. deutlich abgesenkt werden. Wärmeverluste des Trinkwarmwasser-Systems können so deutlich vermindert werden.
2. Wärmedämmung der Warmwasserleitungen (einschließlich Zirkulation) überprüfen und ggfs. nachdämmen. Auch alle Armaturen und Halterungen sollen hochwertig gedämmt sein (Dämmstärke = 2x Rohrdurchmesser, Vermeidung von Verlusten und Überwärmung im Sommer, Vermeidung einer Aufwärmung des Kaltwassers in benachbarten Rohren)
3. Insbesondere Wärmeverteilungen zu unterschiedlichen Warmwasserbereitern im Baufeld, die außerhalb des beheizten Bereiches geführt sind (z.B. Keller, Tiefgarage) auf hochwertige Wärmedämmung (50 mm) prüfen, ggfs. nacharbeiten. Dabei alle Armaturen und Halterungen einbeziehen.
4. Bei dezentraler Warmwasserbereitung über Wohnungsstationen entfallen Anforderungen durch die Legionellenprophylaxe weitgehend. Die Heizwassertemperaturen können daher geringer als 60°C eingestellt werden um Wärmeverluste zu vermeiden.
5. In Wohngebäuden besteht beim Warmwasser-Verbrauch eine ausgeprägte Spitze in den frühen Morgenstunden. Sind ausreichend große Speicher (um 100 L je Wohneinheit) vorhanden, kann das Fernwärmenetz durch zeitlich versetzte Beladung

entlastet werden. Dies kann ggfs. bei der Konfiguration der Regelung berücksichtigt werden (Speicherladen nur 1-2x am Tag, dazwischen Abschalten der Pumpen).

6. Überprüfen, ob hoch effiziente Pumpen vorhanden sind, anderenfalls die Pumpen tauschen lassen.
7. Druckerhöhung (Leistung) der Pumpen an den Bedarf anpassen, automatische Regelungen hinsichtlich des Vorgabewertes überprüfen.

IV. Raumheizung

1. Vorlauftemperatur prüfen und ggfs. anpassen. Eine Außentemperatur-geführte Regelung der Vorlauftemperatur ist in Passivhäusern wenig zielführend, oft aber dennoch vorhanden. Sinnvoller ist ein Bezug zur Innentemperatur der kältesten Wohnung (= Heizbedarf. Wegen hoher Solarbeiträge ist die Außentemperatur nur schwach und stark verzögert mit dem Heizbedarf korreliert). Häufig ist es daher sinnvoll, die Heizkurve so flach als möglich einzustellen um die Außentemperatur-bezogene Temperaturänderung weitgehend auszuschalten.
2. Typische Werte für Vorlauftemperaturen liegen bei 55°C für Heizkörper bzw. Zuluftheizregister und 30°C für Fußbodenheizungen, müssen aber ggfs. anhand der örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Insbesondere kann es erforderlich sein, die Vorlauftemperatur an von der Zentrale weit entfernten Stellen zu prüfen um die Wirkung von Wärmeverlusten im Verteilnetz zu beurteilen.
3. Nachtabenkung der Raumheizung ist bei Passivhäusern mit Wohnnutzung von vernachlässigbarem Einfluss und kann vollständig entfallen.
4. Wärmedämmung der Heizungsleitungen überprüfen und ggfs. nachdämmen. Auch alle Armaturen und Halterungen sollen hochwertig gedämmt sein (50 mm Dämmstärke bzw. 2x Rohrdurchmesser, Vermeidung von Verlusten).
5. Insbesondere Wärmeverteilungen zu unterschiedlichen Gebäuden im Baufeld, die außerhalb des beheizten Bereiches geführt sind (z.B. Keller, Tiefgarage) auf hochwertige Wärmedämmung prüfen, ggfs. nacharbeiten. Dabei alle Armaturen und Halterungen einbeziehen.
6. Eine harte Abschaltung der Heizungsanlage in den Sommermonaten (z.B. 15. April bis 1. Oktober) vorsehen um ungewollte Beheizung zu unterbinden; Diese ist ein häufiger Beitrag zu Überwärmung im Sommer.
7. Überprüfen, ob hoch effiziente Pumpen vorhanden sind, anderenfalls die Pumpen tauschen lassen.
8. Druckerhöhung (Leistung) der Pumpen an den Bedarf anpassen, automatische Regelungen hinsichtlich des Vorgabewertes überprüfen lassen. Vollständige Abschaltung der Pumpen bei fehlender Anforderung.

V. Hilfsstrom technische Gebäudeausrüstung

1. Steuerungen und Stellantriebe werden häufig über eine Vielzahl ineffizienter Netzteile versorgt, hier kann in vielen Fällen ein deutliches Einsparpotential erschlossen werden. Beispielsweise eine auf den tatsächlichen Bedarf abgestimmte zentrale 24V-Versorgung.

2. Nicht benötigte Komponenten abschalten vermeidet Stand-by Verbrauch, etwa bei einer Heizungssteuerung im Sommer oder einer Verschattungs-Steuerung im Winter.
3. Druckerhöhung für Trinkwasser überprüfen und auf das nötige Maß begrenzen

VI. Verschattungs-Einrichtungen

1. Funktion regelmäßig prüfen und ggfs. dringend rasch wieder herstellen
2. Bei automatischer Steuerung
 - a. Übersteuerungsmöglichkeit der Nutzer und Rückfall auf Automatik nach angemessenem Zeitintervall (z.B. 3 h) prüfen
 - b. Schaltschwellen der Automatik (Einstrahlungswerte) regelmäßig prüfen, Sensor kalibrieren lassen
 - c. Bei automatischer Sonnenstands-Berechnung System-Uhrzeit regelmäßig prüfen, Einstellwert des Breitengrades prüfen (49.4° N bzw. 49° 24' N)

VII. Haushaltsstrom

1. Allgemeinstrom für Beleuchtung optimieren: LED Leuchtmittel und optimierte Schaltzeiten, ausgelöst durch Präsenzmelder, in Tiefgaragen und Verkehrsflächen
2. Effizienz-Einstellungen bei Aufzügen prüfen, Abschaltung Kabinenbeleuchtung, Abschaltung Frequenzumrichter bei längerem Stillstand
3. Hauptverbraucher in Haushalten sind gewöhnlich
 - a. Kühl- und Gefriermöbel: angepasste Temperaturen (z.B. 8°C/-18°C), Nutzung von besonders effizienten Geräten. Ein guter Vergleich findet sich zum Beispiel unter www.ecotopten.de
 - b. Unterhaltungselektronik: Vermeidung von Stand-by Verlusten bei TV/HiFi/Decodern etc. z.B. durch Steckerleisten mit Schalter
 - c. Kommunikation: Energieeffiziente Netzteile an Routern u. ä. Kleingeräten, im Dauerbetrieb, WiFi bei Nichtbenutzung abschalten (z.B. nachts)
 - d. Licht: LED Leuchtmittel verwenden und bei Abwesenheit ausschalten
 - e. Aquarien/Terrarien wo möglich mit Wärmedämmung versehen spart Strom und mindert Überwärmung der Wohnräume im Sommer

VIII. Nutzerverhalten

1. Unzureichende Verschattung im Sommer führt unmittelbar zu überwärmten Räumen; Verschattungseinrichtungen konsequent nutzen und über Zusammenhänge aufklären
2. Tageslicht auch bei aktivierter Verschattung wo weit als möglich nutzen. Gebrauch von elektrischem Licht im Sommer minimieren, insbesondere in Büros.
3. Sofern nachts außen eine Abkühlung unter die Raumtemperatur eintritt, ist großzügige Fensterlüftung hilfreich und zur Wärmeabfuhr oftmals notwendig.

4. Hoher Stromverbrauch kostet Geld und mindert den Sommerkomfort, bewusster Umgang lohnt also doppelt; über Zusammenhänge aufklären: Nahezu der gesamte Stromverbrauch wird als Wärme in der Wohnung wirksam.
5. Solare Einträge im Winter (Nov-März) sind gewünscht und wichtig für die Funktion des Passivhauses; Verschattung sollte in dieser Zeit nur sehr sparsam genutzt werden. Über Zusammenhänge aufklären
6. Fensterlüftung im Winter ist möglich, sollte aber auf kurzzeitige Stoßlüftung begrenzt werden. Dauerhaft gekippte Fenster gewährleisten keinen ausreichenden Luftaustausch, führen aber zu hohen Wärmeverlusten. Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung garantiert bereits einen ausreichenden Luftwechsel.

8.3. Berechnungshilfe notwendige Anschlussleistung Fernwärme

Aufgrund der im Sommer verminderten Temperaturdifferenz im Fernwärmenetz erweist sich der sommerliche Wärmebedarf als für die Dimensionierung des nominellen Anschlusswertes ausschlaggebend.

Die reale und die unter sommerlichen Betriebsbedingungen dafür erforderliche nominelle Leistung unterscheiden sich um einen Faktor von ca. 2,8.

Im Winter, außerhalb strenger Kälteperioden, ergibt sich der Faktor zwischen effektiver und nomineller Leistung zu ca. 1,4.

Im Auslegungsfall (Kälteperiode, -12°C) steht die volle nominelle Leistung zur Verfügung.

Eine Überprüfung des benötigten Anschlusses kann durch den Ansatz einer **nominellen Anschlussleistung von 35 W/m² erfolgen.**

Dies deckt dann den sommerlichen und winterlichen Betrieb sicher ab.

Dabei ist allerdings noch anzunehmen, dass die Systemverluste zu einem Teil mildernd auf die Heizlast wirken, was eine zusätzliche Sicherheit in die Betrachtung einführt. Tatsächlich unterschreiten die meisten Gebäude in der Bahnstadt diese theoretischen Werte seit vielen Jahren, so dass auch hier wieder genügend Sicherheit besteht.

Voraussetzung für dieses Verfahren sind Gebäude im Passivhausstandard, deren Betrieb durch fachgerechte Inbetriebnahme keine groben Unregelmäßigkeiten aufweist.

Beispiel:

Ein Baufeld habe eine beheizte Wohnfläche (Energiebezugsfläche nach PHPP) von 9.500 m².

Die bei den Stadtwerken Heidelberg bestellte, nominelle Anschlussleistung sollte

$35 \text{ W/m}^2 * 9500 \text{ m}^2 = 332.500 \text{ W}$ oder 332,5 kW nicht überschreiten.

Genauere Ausführungen zum Leistungsbedarf finden sich in den Abschnitten 2 und 3.