

Kostengünstig heizen, kühlen und Warmwasserbereiten

- ein Erfahrungsbericht Prof. Dr.-Ing. Benjamin Krick

Dieser Artikel ist die Langfassung des im Konferenzband zur 28. Internationale Passivhaustagung erschienenen gleichnamigen Beitrags.

Zusammenfassung: Heizen für den Preis eines Coffee-to-go pro Woche

In diesem Erfahrungsbericht zeige ich Ihnen, wie ein modernes Passivhaus aus Strohballen mit zwei Wohneinheiten mit einer unkonventionellen, aber hocheffizienten Technik beheizt wird. Statt einer klassischen Heizung für 30.000 – 40.000 € kommt eine Kombination aus effizienten Klimageräten (Luft-Luft-Wärmepumpen) und einer kompakten Warmwasser-Wärmepumpe für unter 10.000 € zum Einsatz.

Das Wichtigste auf einen Blick:

- Geringe Kosten: Die Energiekosten für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom sind ca. 5 € pro Quadratmeter im Jahr sehr niedrig.
- Einfache Technik: Die Geräte sind kostengünstig in der Anschaffung und lassen sich teilweise in Eigenleistung montieren.
- Hoher Komfort: Trotz der einfachen Luftheizung wird das Raumklima als hervorragend empfunden, wobei die Geräte im sogar Winter zur Effizienzsteigerung gedrosselt betrieben werden.

Dieser Bericht zeigt wissenschaftlich fundiert, dass eine nachhaltige Wärmeversorgung weder kompliziert noch teuer sein muss.

Einleitung

Ist kein nachhaltig betriebenes Wärmenetz vorhanden, sind elektrische Wärmepumpen die beste Wahl für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung. Luft-Wasser-Wärmepumpen sind heute (2026) in Deutschland jedoch installiert kaum für unter 30.000 € zu bekommen – fast unabhängig von der Leistung oder ob im Bestand oder Neubau eingesetzt. Mit einer Kombination aus Klimasplitgeräten und Brauchwasser-Wärmepumpen sind heute deutlich niedrigere Investitionskosten erzielbar. Der Vorliegende Beitrag ist ein persönlicher Erfahrungsbericht des Autors aus dem von ihm bewohnten Gebäude. Die Untersuchungen zum Gebäude erfolgten mit dem [PHPP 10.6]. Das Monitoring wurde in Zusammenarbeit mit dem PHI durchgeführt.

Das Gebäude

Das als Passivhaus geplante Wohnhaus (Abbildung 1) wurde in den Jahren 2010 bis 2013 mit hohem Eigenleistungsanteil durch den Autor errichtet. Auf 128 m² Energiebezugsfläche sind zwei Wohneinheiten untergebracht. Die Erdgeschosswohnung ist vermietet. Sie hat eine Fläche von ca. 58 m² und wurde bis 2015 von einer, danach von 2 Personen als WG mit hoher Fluktuation bewohnt. Die Wohnung im Obergeschoss mit Galerieebene im Dach misst ca. 74 m² und wird durch den Autor bewohnt. Das Gebäude ist als unabhängiger

Erweiterungsbau an das Elternhaus des Autors aus dem 1960er Jahren angebaut. Durch die Nachbarbebauung im Süden ergibt sich eine starke Verschattung, die jedoch für Neubauten in bestehenden Baugebieten nicht ungewöhnlich ist. Die Südfassade ist um 23° nach Westen verschwenkt. Dem Bau ging das Dissertationsprojekt des Autors über Strohballenbau voraus [Krick 2008].



Abbildung 1: Das Gebäude in der Friedrich-Ebert-Straße in Seeheim. Ansicht von Südwesten (oben links), Schlafzimmer im Obergeschoss (oben rechts) und Galerie (unten rechts). © Krick.

Gebäudehülle

Die Tragkonstruktion besteht aus Holzständern, die mit sichtbaren Diagonalen ausgesteift sind (Abbildung 2, links). Dies ermöglicht stützenfreie Ecken, die im Südosten und Südwesten großzügig mit zertifizierten Passivhausfenstern (Smartwin) verglast sind. Vor die Tragkonstruktion wurden hochkant liegende Großballen (Abmessungen $0,7\text{ m} \times 1,2\text{ m} \times 1,2\text{--}2,6\text{ m}$) gestapelt und lagenweise über liegende Leiterkonstruktionen an das Tragwerk angebunden (Abbildung 2, Mitte). Das Stroh, für welches eine Wärmeleitfähigkeit von $0,064\text{ W}/(\text{mK})$ angesetzt wurde, stammt von einem Acker in ca. einem Kilometer Entfernung zum Bauplatz, die Strohballen wurden in fünf Längen gepresst. Alle Maße des Gebäudes sind auf diese Längen abgestimmt. Die tatsächlichen Maße der Ballen erwiesen sich um einige Zentimeter länger als bestellt. In der Konsequenz wurden Fenster und Türen kleiner ausgeführt. Innenseitig ist das Stroh direkt mit Lehm verputzt. Hierzu wurde zunächst eine dünnflüssige und stark tonhaltige Lehmschlämme als Grundierung auf das Stroh aufgebracht. Es folgt ein mit Strohhächseln versetzter Grundputz, in den ein Glasfasergewebe eingearbeitet wurde. Ein Feinputz bildet die Sichtoberfläche zum Innenraum, der Putz wurde mit einer transparenten Kalk-Kaseinmilch behandelt, um eine beständigere Oberfläche zu erhalten. Der Putz stellt die luftdichte Ebene im Bereich der Außenwand dar. Außenseitig wurde auf die Tragkonstruktion ein Baupapier aufgebracht und eingeputzt. So wird die luftdichte Ebene um die tragenden Bauteile herumgeführt. Auf die Leiterkonstruktion wurde Außenseite eine Schalung aus Holzweichfaserplatten zur Winddichtung aufgebracht (Abbildung 2, rechts). Darauf folgt eine Lattung, auf der die Außenfassade aus Zementfaser- bzw. Zementfaserwellplatten aufgebracht wurde. Es ergibt sich ein Wand-U-Wert von $0,087\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Auch das Dach ist mit Strohballen gedämmt. Diese kommen auf einer Zementfaserwellplatte zu liegen, die auf der Pfettenkonstruktion des Daches lagert. Über den Ballen sind Sparren angeordnet, auf die ein regensicheres Unterdach aus paraffinierter Weichfaserplatte folgt. Hierauf folgen Lattung, Konterlattung und die Schale aus Zementfaserwellplatten. Die Südseite des Daches ist mit einer Photovoltaik (PV)-Anlage und einer thermischen Solaranlage aus Vakuum-Röhrenkollektoren belegt; das Nord-Dach ist begrünt. Die Decken bestehen aus Ortbeton auf einer verlorenen Schalung aus Zementfaserwellplatten im Verbund mit Sichtholzbalken. Vgl. auch [Krick 2016] und [Minke 2023].



Abbildung 2: Im Bau: Tragkonstruktion steht (links), Strohballen sind verbaut (Mitte), verkleidet mit Weichfaserplatten (rechts) © Krick.

Abgesehen von einer etwas zu hohen Leckagerate ($n_{50} = 1,0 \text{ 1/h}$) weist die Gebäudehülle Passivhausqualität auf.

Im Rahmen der Untersuchungen für diesen Beitrag wurde ein neues Modell auf Basis des PHPP 10.6 erstellt und die einzelnen Jahre mit spezifischen Klimadaten im Blatt Varianten nachgeführt. Aus Abbildung 4, unten ist die Korrelation zwischen dem Heizwärmebedarf und der Gradtagzahl erkennbar. Die Jalousien der EG-Wohnung sind in der Regel ganzjährig geschlossen, daraus resultiert dort ein höherer Jahresheizwärmeverbrauch.

Unter Standardrandbedingungen, Klima Mannheim, weist das Gebäude einen Jahresheizwärmebedarf von $11 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (PHPP) auf.

Gebäudetechnik

In die Sichtholzbalken der Decken wurden auf Aluminiumleisten geklebte LED-Chips eingebaut (Abbildung 3, links). Inkl. Vorschaltgerät war diese Beleuchtung zum Zeitpunkt des Einbaus mit über 110 lm/W hervorragend effizient und gibt ein angenehm warmes Licht ab. Bis heute (2026) wurden einige Vorschaltgeräte einer bestimmten Marke im EG ausgetauscht. Im OG und als Ersatz im EG wurden Mean Well Vorschaltgeräte verbaut, die noch immer tadellos funktionieren. Gleiches gilt für die LED-Chips selbst.

Es kommt eine Kaskadenlüftung mit einem Paul-Fokus-Wärmerückgewinnungsgerät zum Einsatz. Dabei wird die Zuluft ausschließlich in die Schlafräume eingebracht. Sie strömt in die Wohnbereiche über und wird aus Küchen und Bädern abgesaugt. Das Lüftungsgerät selbst befindet sich in der Außenwand im Bad und ist dort nicht als solches erkennbar (Abbildung 3, Mitte). Frischluft und Fortluft werden durch ein Koaxialrohr geführt, sodass nur ein Wanddurchbruch nötig ist (Abbildung 3, rechts).

Bei der Auswahl der Elektrogeräte wurde auf größtmögliche Effizienz geachtet.

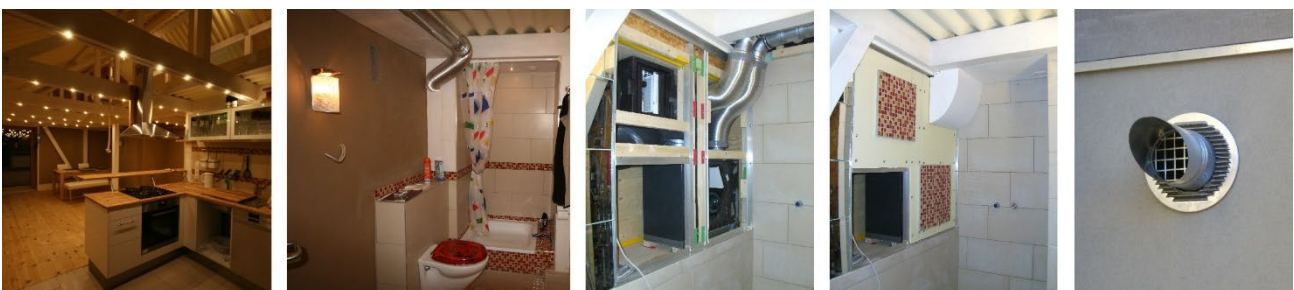


Abbildung 3: LED-Beleuchtung in den Deckenbalken (links). Offen geführte Lüftungsleitung und Gaslampen-Notheizung im Bad. Lüftungsanlage in der Wand, ohne und mit Verkleidung (Mitte). Koaxiale Luftführung (rechts). © Krick.

Im Ursprungszustand verfügt das Gebäude über eine $5,4 \text{ kWp}$ PV-Anlage, eine Solarthermieanlage mit 16 m^2 Vakuum-Röhrenkollektoren, die zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung auf einen 940 l Solarspeicher mit externem Plattenwärmeübertrager gearbeitet haben. Die Solarthermieanlage erwies sich als störungsanfällig. Auch erzeugte sie

im Sommer eine erhebliche zusätzliche Wärmelast. Daneben erfolgte die Beheizung durch einen elektrischen Heizstab.

Zur Wärmeabgabe an den Raum wurde ein sehr kostengünstiges Flächenheizsystem durch Eingießen von Kunststoffrohren in die Decken verbaut. Im OG, wo durch die Galerie Deckenflächen fehlen, wurde das System durch Wandheizflächen ergänzt. Als selbst bei Netzausfall langfristig funktionierende Notheizung wurde in jedem Raum eine Gaslampe montiert, die wie die Herde über eine Flaschengas-Anlage mit zwei 33 kg Propangasflaschen versorgt wird.

Abbildung 4, oben zeigt den Vergleich zwischen den abgerechneten Verbräuchen und dem Bedarf nach PHPP, wobei der Beitrag der Solarthermieanlage im PHPP durch ein vereinfachtes Verfahren abgeschätzt wird. Die Klimadaten wurden mit [Meteonorm] für den Standort Seeheim erzeugt.



Abbildung 4: Gas- und Strombezug im Vergleich zum Bedarf nach PHPP (Oben). Nutz- bzw. Endenergie für relevante Anwendungen (Mitte). Heizwärme und Wärmegesamtnachfrage für Warmwasser lt. PHPP (Unten). Dargestellt ist jeweils die Zeitspanne September bis August. © Krick.

Die OG-Wohnung wurde erst im März 2013 bezogen, der Stromverbrauch ist aus diesem Grund geringer als durch das PHPP ausgewiesen. In den ersten Jahren wurden die Gaslampen nur wenig betrieben. Die durch sie verbreitete Wärme wurde als angenehm empfunden, ebenso das durch die Verbrennung erzeugte leise Rauschen.

2016 war der Elektro-Heizstab defekt und konnte nicht ersetzt werden, da hierzu die Einbauküche im EG hätte entfernt werden müssen. Aus diesem Grund wurde fortan mit den Gaslampen geheizt. Als Backup für die Warmwasserversorgung wurde ein geregelter elektrischer Durchlauferhitzer am Ausgang des Solarspeichers eingebaut.

Ein durch die Fluktuation der Mieter bedingter Nutzereinfluss erklärt kleinere Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch in den Jahren 2016 bis 2021.

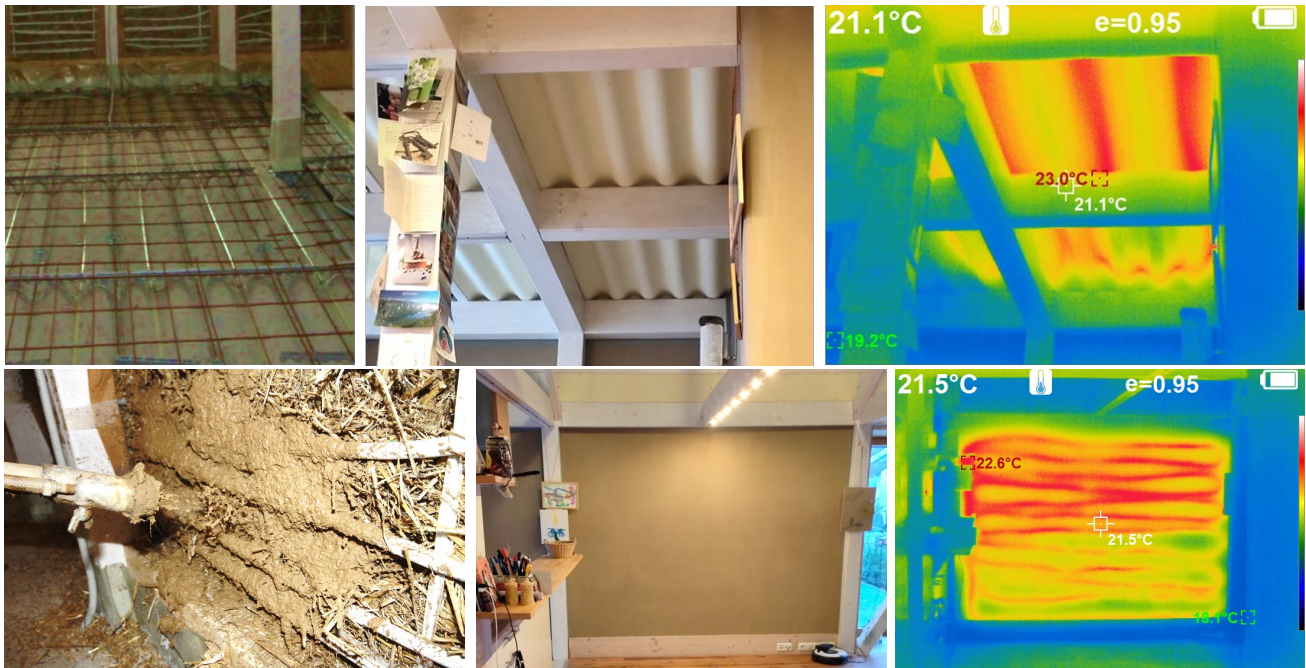


Abbildung 5: Oben von links nach rechts: Rohrschlangen in jedem zweiten Wellental der verlorenen Schalung vor dem Betonieren, Deckenuntersicht als Echt- und Thermografie-Bild. Unten von links nach rechts: Wandheizung beim Verputzen, fertige Wand als Echt- und Thermografie-Bild. © Krick

Auf Mieterwunsch wurde 2021 eine Luft-Wasser-Wärmepumpe eingebaut, welche die Heizung mit den Gaslampen im EG vollständig und im OG überwiegend ersetzte. Die Wärmepumpe wurde auf eine Vorlauftemperatur von 23 °C eingestellt und erwärmte so den Solarspeicher, wenn die Solarthermie nicht genügend Wärme lieferte. Die Wärmeverteilung erfolgte wieder über die bereits erwähnte Wand- und Deckenheizung. An besonders kalten Tagen wurde die Vorlauftemperatur manuell auf 24 °C erhöht. Das Raumklima wurde als hervorragend empfunden. Abbildung 5 zeigt oben die Rohrschlangen der Deckenheizung vor dem Betonieren sowie die Untersicht der Decke zur Galerie als Echt- und Thermografie-Bild und unten die Wandheizung während des Einputzens der Rohrschlangen sowie die fertige Wand als Echt- und Thermografie-Bild. Um eine versehentliche Verletzung der Heizleitungen sowie der luftdichten Ebene im Bereich der Wand zu vermeiden, wurde im Mietvertrag ein Verbot vereinbart, in Außenwände und Decken zu nageln oder zu bohren. Zur Befestigung von Gegenständen können stattdessen die Balken der Wände und Decken verwendet werden. Die Temperaturerhöhung für das Warmwasser erfolgte weiterhin über den Durchlauferhitzer. Aus Abbildung 4, Mitte ist erkennbar, dass der Nutz- bzw. Endenergiebedarf trotz hoher Gradtagzahlen in dieser Zeit ein Minimum erreichte. Für den Zeitraum 2021 / 2022 wurde eine Arbeitszahl von 3,52 ermittelt, für 2022 / 2023 3,45.

Gemessen an den niedrigen Vorlauftemperaturen kann können die Arbeitszahlen als gering eingeschätzt werden. Es wird vermutet, dass dies mit der nicht optimalen hydraulischen Einbindung begründet werden kann. Die Speicherladetemperaturen wurden nicht gemessen. Durch eine direkte Einbindung der Flächenheizung an die Wärmepumpe wäre vermutlich ein besseres Resultat erzielbar gewesen. Im Sommer 2023 wurde ein 0,77 kWp Steckersolargerät nachgerüstet.

Bereits nach zwei Wintern kam es zu einem Defekt in der Wärmepumpe, der vermutlich auf eine ungewollte Zirkulation kochend heißen Wassers der Solarthermieanlage durch die Inneneinheit der Wärmepumpe zurückzuführen ist. Fast zeitgleich wurde der externe Plattenwärmetauscher undicht. Auch im Verteilnetz der Decken- und Wandheizungen zeigten sich Undichtheiten, die nicht zu beseitigen waren. Aus diesem Grund wurde die Heizwärmeversorgung im Oktober 2024 auf ein Klimasplitgerät je Wohnung umgestellt. Gleichzeitig wurde, auch vor dem Hintergrund der Gas- und Klimakrise auf eine weitere Beheizung mit Gaslampen verzichtet. Anstelle der Gaskochfelder wurden Induktionskochplatten eingebaut und ab Dezember 2024 ein Elektroauto (mit geringer Kilometerleistung) betrieben. Das Warmwasser wurde nun ausschließlich über den Durchlauferhitzer bereit. Die Außerbetriebnahme der Solarthermieanlage und des Speichers haben einen sehr prägnanten Einfluss auf die Gesamtwärmenachfrage des Wassersystems, sie beseitigte auch auf die sommerliche Übererwärmung (so zumindest der subjektive Eindruck). Der Heizwärmebedarf im Winter 2024/2025 ist aufgrund der kühleren Witterung (höhere Gradtagzahl) sowie der nun reduzierten internen Wärmequellen leicht erhöht. Im September 2025 wurde eine Brauchwasser-Wärmepumpe mit 90 l Speicher, Wärmequelle Raumluft, in Betrieb genommen. Der Winter 2025/2026 ist noch etwas kühler als der Vorangegangene. Die internen Wärmequellen sind in diesem Winter aufgrund der Wärmeverluste des nun installierten Speichers der Brauchwasser-Wärmepumpe wieder etwas höher. Die Wärmesenke durch die BW-Wärmepumpe wird anderweitig verrechnet. So sind die Auswirkungen auf den Jahresheizwärmebedarf nicht signifikant.

Unter **Standard-Randbedingungen** beträgt der **Jahresheizwärmebedarf** Q_H im Klima Mannheim (PHPP-Klimadatensatz DE0032a) **12,6 kWh/(m²a)**, der **PER-Bedarf** **28,6 kWh/(m²a)**. Mit dem **spezifischen** Meteonorm-Datensatz Seeheim 2025/2026 und **Betriebsbedingungen** ist Q_H **17,25 kWh/(m²a)**. Gründe für den höheren Wert sind u.A. die höheren Heizgradstunden, geschlossene Jalousien der EG-Wohnung und geringere interne Wärmequellen (geringere Belegungsdichte, Haushaltstromverbrauch, Warmwasserverbrauch). Der **PER-Bedarf** ist indes mit **24,3 kWh/(m²a)** niedriger, was ebenfalls mit dem geringen Haushaltstrom- Warmwasserverbrauch erklärt werden kann.

Das Gebäude erreicht somit bedarfsseitig PH-Premium. Erzeugungsseitig kann Premium erreicht werden, würde das Dach vollflächig mit PV belegt. Diese Maßnahme ist geplant.

Heizen mit dem Klimasplitgerät

Einbau

Jeweils ein Daikin Perfera 2,5 kW Monosplitgerät wurde für die EG- und die OG-Wohnung installiert, vgl. [Daikin] ist der SCOP 5,2, die Effizienzklasse im Heizmodus A+++ . Nach eigener Recherche war das Gerät zum Zeitpunkt des Einbaus das effizienteste am Markt. Auf das kleinste Gerät der Perfera-Serie mit 2 kW wollte sich der Kältetechniker mit Hinweis auf die zu geringe Leistung für das Gebäude, nicht einlassen. Das Außengerät der EG-Wohnung wurde auf einem kleinen, selbstgegossenen Fundament platziert. Der Durchbruch durch die Strohballenwand und das Anbringen der Montageplatte für das Innengerät erfolgten ebenfalls in Eigenleistung. Das Außengerät der OG Wohnung ruht auf einer Montagekonsole, das Innengerät wurde im zweigeschossigen Eingangsbereich der Wohnung so platziert, dass der Warme Luftstrom auf die Galerie gelangen kann, über sie streicht, auf der anderen Seite im Wohnbereich, absinkt. So bildet sich eine Zirkulation aus, welche die gesamte Wohnung ausreichend erwärmt. Auch beim EG-Gerät wurde die beschriebene Eigenleistung eingebracht, sodass sich die Arbeit der Kältetechniker auf das Aufsetzen der Außen- und Innenteile und deren Verbindung und das Evakuieren und Füllen der Leitungen mit Kältemittel beschränkte. Zu zweit brauchten die Techniker kaum 3 Stunden. Nach der eigentlichen Montage wurden die Kältemittelleitungen zusätzlich gedämmt (die Kältetechniker hatten hierfür kein Verständnis: Die Leitung sei doch gedämmt (ca. 5 mm stark)) und die Durchlässe luftdicht abgeklebt. Der Kondensatablauf des EG-Innengerätes wurde nach außen geführt, der Schlauch bildet an seinem Ende einen Siphon aus. Der Kondensatablauf des OG-Innengerätes mündet über einen freien Auslauf gemeinsam mit der Kondensat Ableitung der Warmwasser-Wärmepumpe in einen Siphon des Abwassernetzes. Kondensat fällt an den Innengeräten ausschließlich im Kühlbetrieb an. Das im Heizbetrieb anfallende Kondensat der Außengeräte wird außen frei abgeleitet.

Die Investitionskosten für die beiden Geräte beliefen sich inkl. Montage auf ca. 7.100 € (anstatt die Eigenleistung bei der Rechnungsstellung zu berücksichtigen, erfolgte die Demontage der alten Luft-Wasser-Wärmepumpe kostenlos), hierauf wurden durch die KfW 30 % Heizungsförderung gezahlt: 2.130 €. Zusätzlich wurden etwa 100 € in Kleinmaterial wie Lehrrohre, Dämmung und Klebeband investiert. Damit betrug die Investition ohne Förderung ca. 7.200 €, abzüglich Förderung 5.070 €.

Das OG-Gerät wurde zum 01.12.2024 mit der Daikin-App verbunden, des EG-Gerät zum 01.01.2025. Seitdem sind Gerätedaten Stromverbrauch und Wärmelieferung verfügbar.



Abbildung 6: Oben: Außen- und Innengerät der EG-Wohnung (links), Außen- und Innengerät der OG-Wohnung (rechts). Unten: Echt- und Thermografie-Bild des OG-Innengerätes. © Krick.

Betriebsoptimierungen, Stromverbräuche, Wärmelieferungen und Arbeitszahlen

Beim OG-Gerät wurde die Kompressorleistung seit Betriebsbeginn über den Menüpunkt „Bedarfssteuerung“ der App auf 50 % reduziert. Relativ zur Kompressorleistung steht so eine größere Kondensator- und Verdampferfläche zur Verfügung. Dieses Gerät wurde auf eine Solltemperatur von 17 °C eingestellt und hält die Wohnung (laut Anzeige der App) um 20 °C. Die Lüfterleistung wurde auf Automatik gestellt. Das Gerät lief so den Winter über durch und wurde erst im März 2025 abgeschaltet. Und, abgesehen von einem geringen Einsatz um Kühlen an wenigen Tagen im Juli und August, erst im November 2025 wieder eingeschaltet. Die Kondensatortemperatur wurde mehrfach mit einer Thermografie Kamera gemessen und lag auch bei Minustemperaturen nie über 28 °C, vgl. Abbildung 6 unten rechts.

Aus dem Stromverbrauch und der Wärmelieferung laut Hersteller-App lässt sich die Arbeitszahl des Gerätes bestimmen. Sie erreichte im Mittel des Monats Februar 2026 mit 8,4 ihr Maximum und im Februar 2025 mit 7,24 ihr Minimum. Diese Herstellerangaben werden unten diskutiert.

Das EG-Gerät wird manuell gesteuert, die Solltemperatur ist 30 °C. Im Januar 2025 lag die Arbeitszahl nach Gerätedaten bei 3,5 @ 2,8 °C mittlerer Außentemperatur. Im Februar wurde die Leistung auf 50 % begrenzt. Der COP nach Gerätedaten lag dann bei 4,92 @ 2,7°C. Durch die veränderte Betriebsweise konnte eine Effizienzverbesserung erreicht werden, durch konstanten Betrieb sind weitere Verbesserungen möglich. Diese Strategie wurde ab Januar 2026 umgesetzt, der COP nach Gerätedaten lag im Februar 2026 bei 8,1 @ 5,3 °C.

Seit September 2025 liegen zusätzlich Strommessungen aus einem Monitoring-Projekt vor (PHI-Messung). Die Daten konnten für diesen Beitrag bis einschließlich März 2026 ausgewertet werden. Die so gemessenen Strommengen werden denen der internen Messung der Splitgeräte in Abbildung 8 gegenübergestellt. Nach der PHI-Messung sind die Stromverbräuche höher. So scheint der Standby-Verbrauch (sichtbar an den Werten der Monate ohne Heizwärmeanforderung) von etwa 3,6 kWh/Monat bei der geräteinternen Messung nicht inkludiert zu sein. In den Monaten mit Heizwärmeanforderung ist die Differenz größer als der ermittelte Standby-Verbrauch. Hier scheinen bei den Herstellerangaben weitere Teile des Stromverbrauches, wie z.B. der Ventilator der Inneneinheit, zu fehlen. Wird aus den jeweiligen Monatswerten der beiden Gräte die Summe gebildet, korrelieren die beiden Messreihen in guter Näherung linear. Die Messungen der Splitgeräte wurden entsprechend korrigiert, um auch in den der Zeit vor der PHI-Messung realistische Stromverbrauchswerte verfügbar zu machen.

In Abbildung 7 sind die oben die Stromverbräuche, Wärmelieferungen und Arbeitszahlen nach Herstellerdaten aufgelistet. Unten werden die Ergebnisse der PHI-Messung, die Wärmebedarfe aus dem PHPP und die resultierenden Arbeitszahlen sowie die Abweichungen zu den Gerätedaten gezeigt. Es wird deutlich, dass die Stromverbräuche laut Gerätemessung deutlich niedriger sind. Hohe Abweichungen kommen insbesondere bei kleinen monatlichen Stromverbräuchen vor, da hier vermutlich nicht inkludierte Verbräuche aus Standby und ggf. Ventilatorstrom einen höheren Anteil haben. Zudem wird die Wärmelieferung durch die Geräte im Vergleich zum (über Jahre validierten) Bedarf nach PHPP deutlich überschätzt. Aus zu niedrigen Stromverbräuchen und zu hoch abgeschätzten Wärmelieferungen resultieren so deutlich zu hohe Arbeitszahlen. Dabei scheinen die Wärmelieferungen bei wie zuvor beschrieben optimierter Betriebsweise besonders stark überschätzt zu werden. Zwar scheinen die Optimierungen richtungssicher, ihre Wirkung wird aber bei der Orientierung an den Gerätedaten überschätzt.

Für den Zeitraum September 2024 bis August 2025 errechnet sich eine **Jahresarbeitszahl** von **3,43**, @ 59 kWh/a für das 2025/2026 von **3,56**, @ 67 kWh/a. Diese Zahlen sind nach Einschätzung des Autors realistisch.

Wie erwähnt beträgt der Standby-Verbrauch pro Geräte ca. 3,6 kWh pro Monat, entsprechend ca. 4,9 W. Bei 0,312 €/kWh verursacht dies monatliche Energiekosten von 1,14 €. Diese Angabe gilt, wenn die Geräte über die Fernsteuerung oder die App ausgeschaltet sind. Werden die Geräte nicht ausgeschaltet, schaltet sich der Ventilator des Innengerätes von Zeit zu Zeit ein. Vermutlich, um Luft umzuwälzen, damit der Temperatursensor die Raumlufttemperatur, nicht die Temperatur im Gerät misst. Der Stromverbrauch liegt dann bei ca. 7,2 W, entsprechend 1,69 €/Monat. Durch das Abschalten der Geräte lassen sich 0,55 €/Monat sparen.

Splittergeräte nach Hersteller-App										
		Stromverbrauch [kWh]			Wärmelieferung [kWh]			Arbeitszahlen		
		Beide	EG	OG	Beide	EG	OG	EG	OG	Beide
2024	Nov	61	61	0	220	220	0	3,60		3,60
	Dez	174	108	65	897	376	521	3,47	7,99	5,17
2025	Jan	177	111	67	924	387	536	3,50	8,07	5,21
	Feb	91	63	28	511	310	201	4,92	7,24	5,63
	Mar	13	11	2	78	67	12	5,90	7,80	6,13
2025	Okt	11	11	0	72	72	0	6,29		6,29
	Nov	81	41	40	553	220	332	5,39	8,29	6,82
	Dez	105	31	73	736	158	579	5,04	7,90	7,04
2026	Jan	213	119	93	1.370	678	692	5,69	7,41	6,45
	Feb	114	75	39	936	608	328	8,10	8,40	8,20
	Mar	25	22	2	153	134	19	6,06	7,92	6,24
2024/2025		516	355	161	2.630	1.360	1.270	3,84	7,89	5,10
2025/2026		548	300	248	3.820	1.870	1.950	6,24	7,86	6,97

Splittergeräte nach PHI-Messung und PHPP										
		Stromverbrauch [kWh]			PHPP-Wärmebedarf [kWh]				Arbeitszahlen	
		Beide	Abweichung		Summe	Heizung	WW-WP	Abw.	Beide	Abw.
2024	Nov	71	10	14%	430	430				
	Dez	189	15	8%	636	636				
2025	Jan	193	15	8%	564	564				
	Feb	102	11	11%	470	470				
	Mar	20	8	38%	32	32				
2025	Okt	19	8	40%	60	60				
	Nov	92	11	12%	429	398	31			
	Dez	116	12	10%	605	572	32			
2026	Jan	230	17	7%	743	717	27			
	Feb	127	12	10%	400	369	32			
	Mar	33	8	25%	60	41	19			
2024/2025		625	95	15%	2.145	2.145		23%	3,43	49%
2025/2026		659	111	17%	2.349	2.209	141	67%	3,56	96%

Abbildung 7: Stromverbrauch, Wärmelieferung und Arbeitszahlen nach Gerätedaten (oben). Stromverbrauch nach PHI-Messung und Wärmebedarf sowie resultierende Arbeitszahlen und Abweichungen zu den Gerätedaten (unten). © Krick.

Leistungen, Temperaturen und Betrieb im Detail

Abbildung 8 zeigt für den 8.-14. November (erste Woche in 2025 in der das OG-Splitgerät Wärme lieferte) die Außentemperatur, die EG- und OG-Innentemperaturen sowie die Leistungsaufnahme der Splitgeräte. Ab dem 11. November sind im Verlauf der Außentemperatur deutliche Schwankungen zu erkennen, was für klares, sonniges Wetter spricht. Die OG-Temperatur fällt im dargestellten Zeitraum zunächst vom 08.-10.11. von etwa 18,5 °C auf knapp unter 17 °C ab (die Temperaturen gelten für den Wohn/Ess-Bereich mit Küche – auf der Galerie, dem eigentlichen Aufenthaltsraum liegen die Temperaturen um ca. 1,5 °C höher). Dann wird das Splitgerät dieser Wohnung erstmalig eingeschaltet. Es erwärmt die Wohnung mit einer elektrischen Leistungsaufnahme (Halbstunden-Mittelwerte) von in der Spitze ca. 330 W auf 18,5 °C und hält diese mit einer Leistungsaufnahme von etwa 140 W (offenbar die geringste Leistungsaufnahme bei dieser Einstellung) konstant. Ein geringerer Leistungsbedarf wird durch Takten abgebildet. Die Temperatur steigt am 11., 12. und 13. November durch Sonneneinstrahlung (auf der Südseite des Gebäudes befindet sich in ca. 8 m Entfernung ein weiteres Gebäude, welches die Mittagssonne abschattet) auf um 20 °C an. Nach Sonnenuntergang fällt die Temperatur, das Splitgerät heizt in den Nacht- und Morgenstunden nach.

In der EG-Wohnung wird das Splitgerät morgens und abends manuell ein- und wieder abgeschaltet, die maximal erreichte Temperatur im abgebildeten Zeitraum beträgt 22,6 °C. An den sonnigen Tagen fehlt ein entsprechendes Ansteigen der Innentemperatur, ein Hinweis auf geschlossene Jalousien. Die Leistungsaufnahme des EG-Splitgerätes liegt im Regelfall knapp unter 400 W.

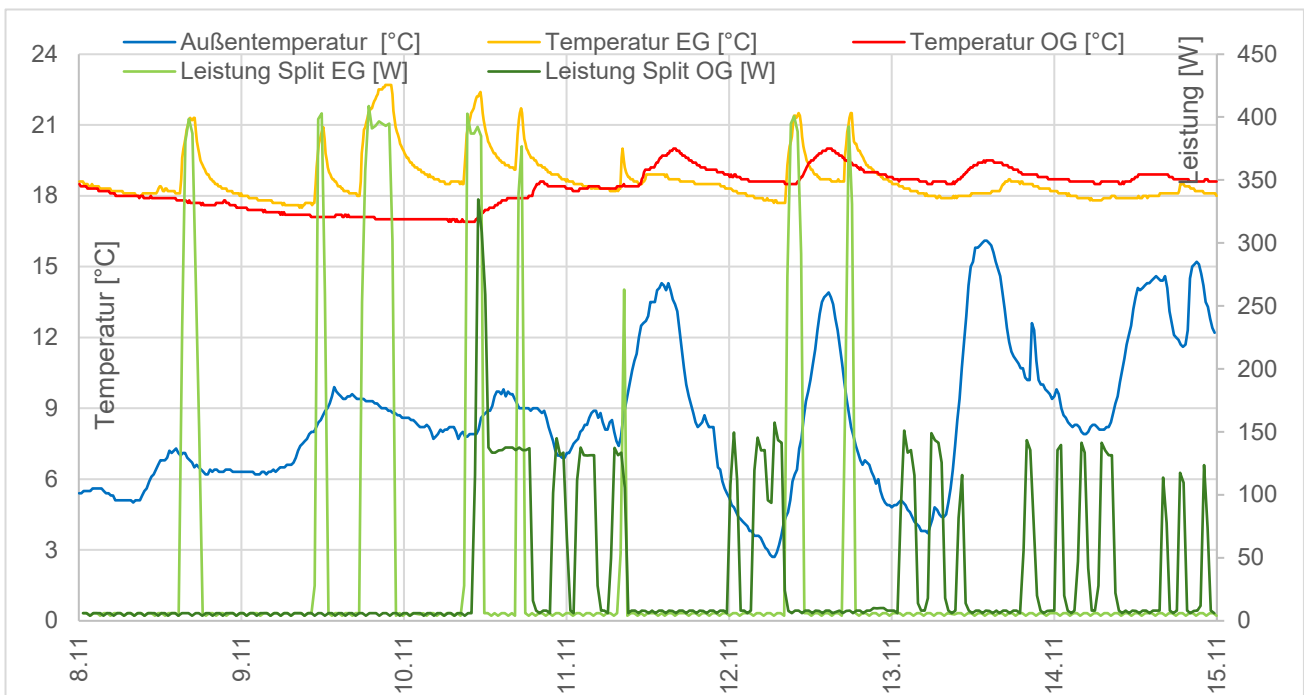


Abbildung 8: 8.-14. November 2025 – erste Woche, in der das OG-Split Wärme lieferte: Außentemperatur; Leistungsaufnahme Split EG, Innentemperaturen EG; Leistungsaufnahme Split OG, Innentemperaturen OG (Wohnen). © PHI / Krick

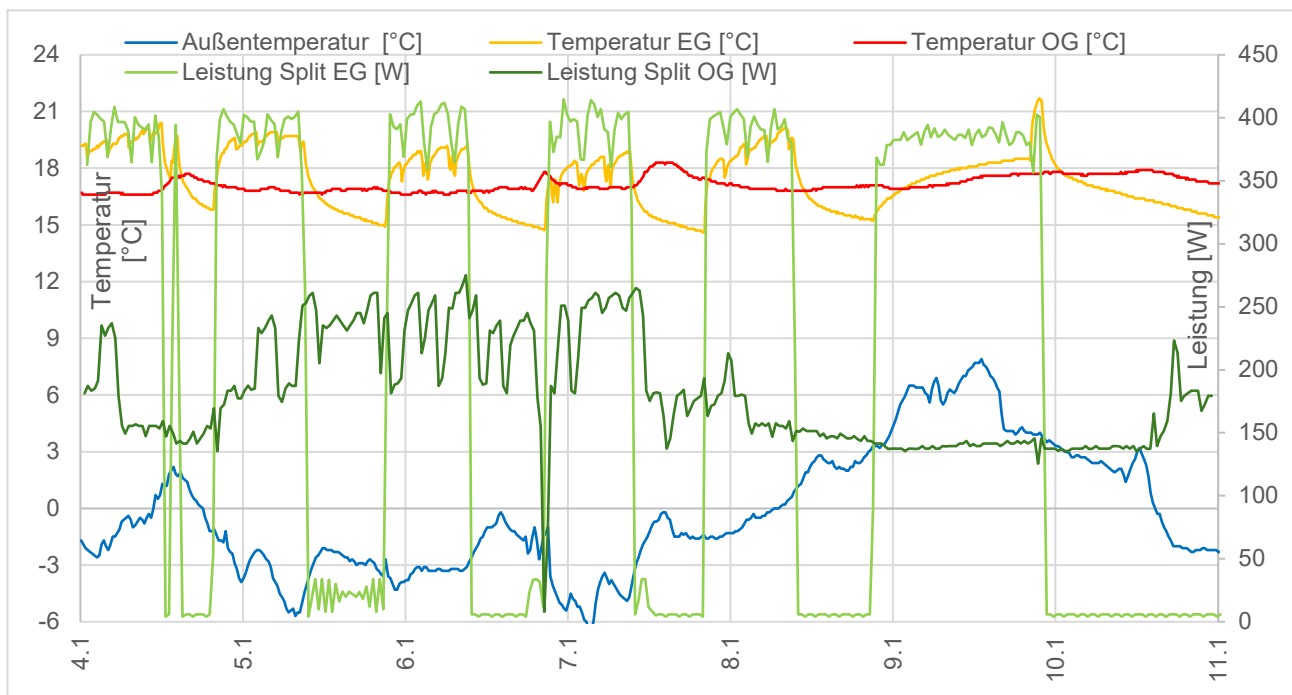


Abbildung 9: Kalte Periode (4.-12. Januar): Außentemperatur; Leistungsaufnahme Split EG, Innentemperaturen EG; Leistungsaufnahme Split OG, Innentemperaturen OG (Wohnen). © PHI / Krick

Abbildung 9 zeigt die vorgenannten Parameter für die vergleichsweise kalte Woche vom 4.-10. Januar 2026. Zwischen dem 5. und dem 8. Januar liegen die Temperaturen dauerhaft unter 0 °C. Das Splitgerät der EG-Wohnung läuft nun tagsüber durch. Die mittlere Leistung des EG-Klimagerätes liegt, wie in der wärmeren Periode, knapp unter 400 W. Dies scheint die maximale Leistungsaufnahme bei Begrenzung auf 50 % der Maximalleistung zu sein. Der Vergleich zwischen Aufnahmeleistung und Innentemperatur legt den Schluss nahe, dass es bei der gewählten Betriebsweise die Leistung nicht ausreicht, um die gewünschte Innentemperatur zu erreichen.

Die Temperaturspitzen in der OG-Wohnung am 4. und 7. Januar deuten wieder auf sonnige Tage. Am 6. Januar abends wurden Gäste bewirtet und in diesem Zeitraum 2 Ethanolfeuer entzündet. Die Temperatur steigt, das Klimasplitgerät schaltet ab. Ansonsten läuft das Gerät in dieser Periode komplett durch. In den Zeiträumen ca. 3 °C Außentemperatur weist es eine erhöhte Leistungsaufnahme auf, mit dem Wärmer werden kehrt es am 8. Januar auf 0,14 kW Leistungsaufnahme zurück, dies scheint die minimale Leistungsaufnahme in der gewählten Konfiguration zu sein.

Vorschläge zur Betriebsoptimierung

- Außerhalb der Heizzeit können die Geräte über 7 Monate vom Stromnetz getrennt werden. Die Einsparung betrüge im Vergleich zum Abschalten für beide Geräte ca. 50 kWh/a, entsprechend 16 €. Die Arbeitszahl stiege dann 2025/2026 auf 3,86 an.
- Um die Anzahl der Takte zu reduzieren, in der Tendenz wärmere Außentemperaturen und Sonnenstunden mit PV-Ertrag zu nutzen, kann die Betriebszeit mittels Zeitschaltuhr der App auf die Tagesstunden beschränkt werden. Ob dieser diskontinuierliche Betrieb tatsächlich zu höheren Arbeitszahlen führt, soll im Winter 2026/2027 beim OG-Gerät getestet werden.

Warmwasserbereitung mit einer Trinkwarmwasser-Wärmepumpe

Einbau

Das Wasser wird seit August 2025 für beide Wohneinheiten durch eine Brauchwasser-Wärmepumpe Ariston Nuos Eco A+ mit 80 l Speicher bereit. Eine Zirkulation ist nicht vorhanden. Die Effizienzklasse wird vom Hersteller mit A+ (die z.Zt. höchste Klasse), der COP nach EN16147 (7°C Quelltemperatur, 10 °C Kaltwassertemperatur, 52 °C Zieltemperatur) mit 2,6, die Aufheizzeit mit 5 Stunden und 35 Minuten angegeben, vgl. [Ariston]. Der Arbeitsbereich liegt zwischen -5 °C und 42 °C, die maximale Warmwassertemperatur beträgt 62 °C. Der Kondensator in Form eines Kupferrohres ist um den Tank gewickelt, Verdichter und Verdampfer sind oberhalb des Speichers angeordnet.

Die Wärmepumpe wurde in einem Wandschrank im OG eingebaut, vgl. Abbildung 6. Über ein ungedämmtes Wickelfalzrohr, DN 160, saugt sie Luft aus dem Schlafzimmer an. Die abgekühlte Luft wird dann über ein mit 19 mm Armaflex gedämmtes Rohr, ebenfalls DN 160, in das Schlafzimmer zurückgeführt. Die Wärmepumpe ist über Telefoneschalldämpfer (DN 160, 25 mm Absorber) mit den Zu- und Abluftrohren verbunden. Im Schlafzimmer befindet sich ein starrer Schalldämpfer (DN 160, 50 mm Absorber) am Ende des Abluftrohres.

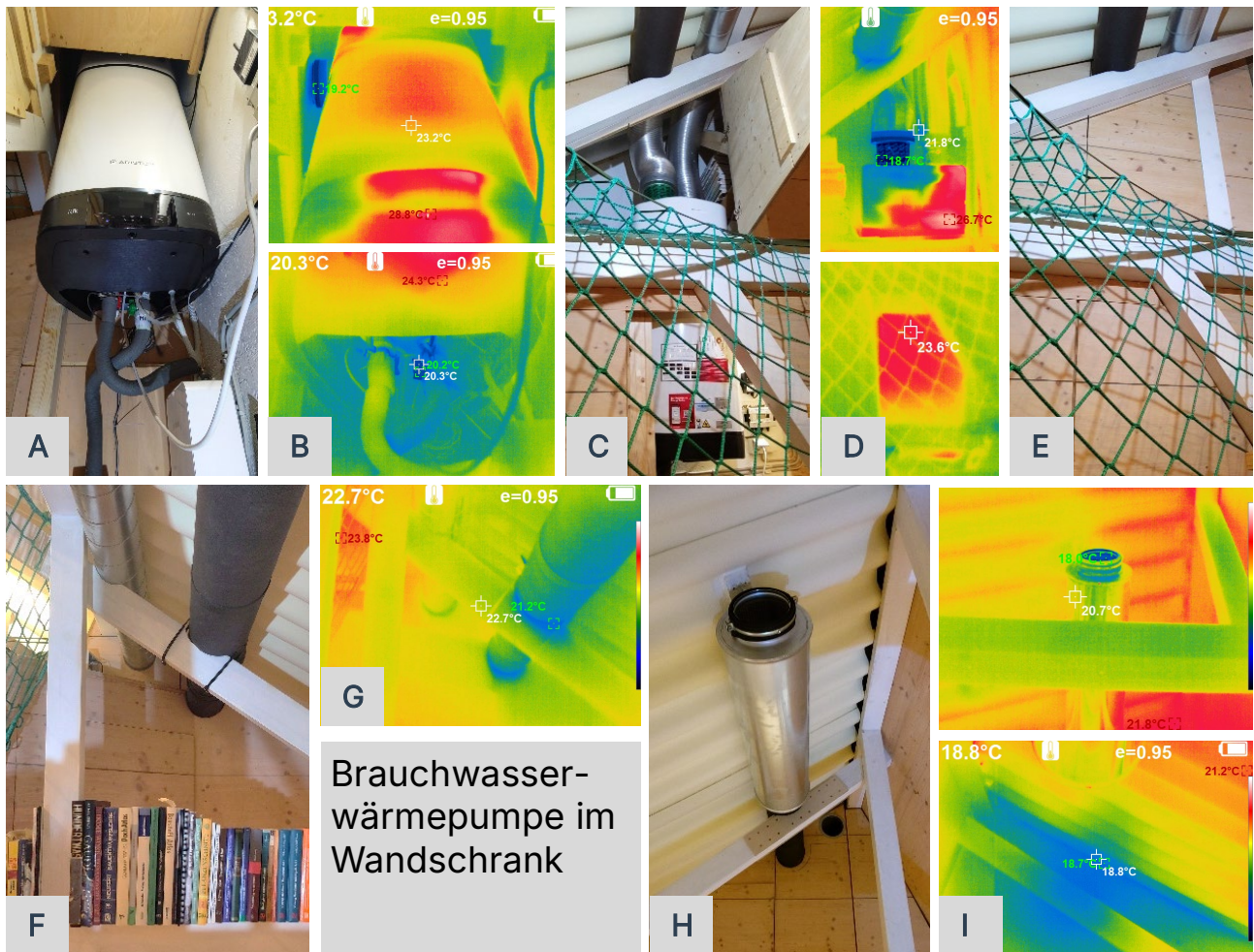
Als Backup wurde ein elektronisch geregelter Durchlauferhitzer eingebaut, der jedoch im Berichtszeitraum nicht verwendet wurde, da genug warmes Wasser zur Versorgung der 3-4 nutzenden Personen (in 2 Duschen, 2 Handwaschbecken und 2 Spülen) vorhanden war.

Der Speicher selbst wurde schnell und kostengünstig mit flexibel gedämmten Panzerschläuchen eingebunden. Es ergab sich eine Reduktion der Warmwasserleitungen um 7 m. So kommt das warme Wasser schneller zu den Zapfstellen und es treten weniger Verluste auf.

Das durch die Abkühlung der zugeführten Luft am Verdampfer der Wärmepumpe entstehende Kondensat wird über einen Siphon in das Abwasser eingeleitet. Die Wärmepumpe ist über einen Haushaltsstecker mit dem Stromnetz verbunden.

Temperatur- und Feuchtesensoren sind direkt oberhalb der Wärmepumpe in den Zu- und Abluftleitungen montiert. Ein Wärmemengenzähler befindet sich direkt unterhalb des Speichers, angeschraubt an den Panzerschlauch.

Die Kosten für die Wärmepumpe selbst lagen inkl. Lieferung bei 1.100 €. Das Für das Kanalnetz fielen inkl. Rohren, Schalldämpfern, Dämmung und Befestigungsmitteln ca. 600 € an. Die hydraulische Einbindung kostete ca. 300 €. In Summe lagen die Kosten bei ca. 2.000 €. Nicht berücksichtigt sind hier die Kosten für die Messtechnik sowie für den (nicht benutzten) Durchlauferhitzer. Förderungen wurden nicht in Anspruch genommen. Der Einbau erfolgte komplett in Eigenleistung und wurde als nicht als schwierig empfunden. In vielen Fällen, wenn ein vorhandener Boiler oder ein Wasserspeicher ausgetauscht werden soll, können die Kosten für das Kanalnetz und die hydraulische Einbindung deutlich reduziert werden – auch der Einbau kann dann noch einfacher sein.



Brauchwasser-
wärmepumpe im
Wandschrank

Abbildung 10: A: Blick vom Boden des Schrankes auf das Gerät. B: Zugehörige Thermografie (Deutlich sichtbar ist die dünnere Wärmedämmung in der Speichermitte sowie im Bereich des Displays und unterhalb. Mit knapp 29 °C ist dies die wärmste Stelle. Mit 20,2 °C ist der Kaltwasseranschluss die kälteste Stelle). **C: Bei geöffnetem Schrank** (unten Speicher, oben Wärmepumpe mit abgehenden Telefonieschalldämpfern, blankes Rohr: angesaugte Luft aus dem Schlafzimmer; dunkles, gedämmtes Rohr: Abgekühlte Luft zum Schlafzimmer. Das grüne Netz dient als Geländer der Treppe zur Galerie). **D: Zugehörige Thermografie** (im unteren Bereich ist der Speicher mit knapp 20 °C sichtbar. Hinter der mit 26,7°C wärmsten Stelle im oberen Bereich verbirgt sich der Kompressor. Im kälteren Bereich diagonal darüber befindet sich der Verdampfer. Der mit 18,7 °C kälteste Bereich ist der Abluftstutzen. Bei diesen Temperaturen besteht weder die Gefahr von Tauwasser noch von Schimmelbildung). **E: Geschlossener Schrank. F: Leitungsführung zum Schlafzimmer. G: Zugehörige Thermografie** (die kältesten Temperaturen liegen etwa 1,5 °C unterhalb der Umgebungstemperatur). **H: Im Schlafzimmer** (Schalldämpfer (Mitte) und Ansaugöffnung oben rechts im Hintergrund). **I: Zugehörige Thermografie** (oben Auslassöffnung mit 18 °C – Achtung, die Blanke Oberfläche wirkt durch die sich in ihr spiegelnden Flächen wärmer. Unten: Gegenüberliegende Seite, die durch den Kaltluftstrom auf knapp 18 °C abgekühlt wird. Die kalte Luft fällt auf das darunterliegende Fußende des Bettes, hier kommt es auch im Winter nicht zu Komfort-Einbußen). © Krick

Stromverbräuche, Wärmelieferungen und Arbeitszahlen

Die Brauchwasser-Wärmepumpe wurde im August 2025 erstmalig aktiviert und ist seitdem ununterbrochen in Betrieb. Bezüglich des Strombedarfes und der Wärmelieferung ausgewertet werden konnten die Monate Oktober 2025 bis einschließlich März 2026.

Im Oktober 2025 wurde das Gebäude noch nicht geheizt. Der Stromverbrauch betrug in diesem Monat 2025 27,2 kWh, die Wärmelieferung war im Oktober 70,4 kWh. Damit lag die Arbeitszahl bei 2,6. Im November betrug der Strombedarf 35,6 kWh, die Wärmelieferungen 85,3 kWh entsprechend einer Arbeitszahl von 2,4 im November. Die Differenz erklärt sich aus den geringeren Innenraumtemperaturen im November. Mit weiter sinkenden

Innentemperaturen im Dezember und Januar sinkt auch die Arbeitszahl weiter (Dezember: 2,33) und steigt im Februar und März mit steigenden Innentemperaturen wieder an.

Diese Arbeitszahlen Zahlen gelten für den Betrieb mit Raumluft, die in der Heizzeit zuvor durch das OG-Splitgerät aufgewärmt wurde. Um dies zu inkludieren, wurde die dem Raum entnommene Wärme (Wärmelieferung der Wärmepumpe abzüglich Strombedarf sowie Leitungs- und Speicherverluste) bestimmt und durch die Arbeitszahl des Splitgerätes dividiert. Ergebnis ist der zusätzliche Stromverbrauch. Die System-Arbeitszahl ist dann die gelieferte Wärmemenge der Brauchwasserwärmepumpe dividiert durch die jeweiligen Summen des Strombedarfs beider Wärmepumpen. Für die Monate November bis Januar den Oktober errechnet sich so eine Arbeitszahl von knapp über 1,9. Für den wärmeren März mit geringem Heizwärmeverbrauch knapp über 2,1. Wird während der 4-Monatigen Heizzeit eine Arbeitszahl von 1,9, und 2,5 außerhalb angenommen, kann überschlägig von 2,3 im Jahresmittel ausgegangen werden.

Wie in Abbildung 7 gezeigt, wurden dem Gebäude in der Heizzeit 2025/2026 lediglich 141 kWh Wärme entnommen. Im Vergleich zum Heizwärmebedarf von 2.209 kWh im gleichen Zeitraum spielt die BW-Wärmepumpe im Wärmehaushalt des Gebäudes eine untergeordnete Rolle. Selbst wenn der Warmwasserverbrauch wie in vielen Fällen üblich, beim Dreifachen des hier festgestellten liegen würde, wäre der Eingriff in den Wärmehaushalt des Gebäudes noch immer untergeordnet, jedoch im Fortluftstrom noch deutlicher spürbar.

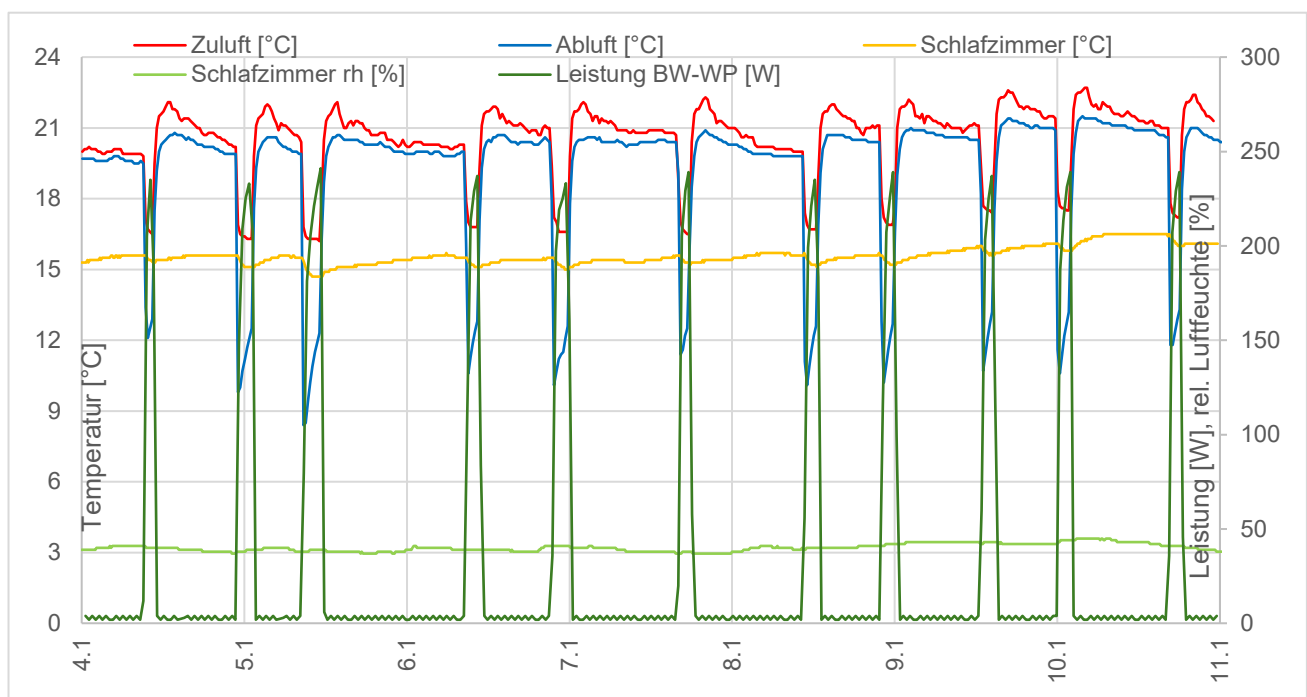


Abbildung 11: Elektrische Leistungsaufnahme der BW-Wärmepumpe (Halbstunden-Mittelwerte), Temperaturen Zuluft- und Abluft der BW-WP sowie im Schlafzimmer auf Höhe der Liegefläche und relative Luftfeuchte an gleicher Stelle. © PHI / Krick

Leistungen, Temperaturen und Nutzererfahrungen

Das Geräusch des Kompressors ist im OG deutlich wahrnehmbar, wird aber subjektiv nicht als störend empfunden. Strömungsgeräusche sind im Schlafzimmer wahrnehmbar und werden ebenfalls als nicht störend empfunden.

Abbildung 7, zeigt die Leistungsaufnahme der Brauchwasser Wärmepumpe (Halbstunden-Mittelwerte) zwischen dem 4. und dem 11. Januar 2025. Das Gerät war täglich 1-2-mal für 1-3 Stunden in Betrieb. Der Verdichter hat eine Leistung von ca. 230 W_{el}.

Die Temperaturen der Zu- und Abluft liegen, wenn die Wärmepumpe nicht aktiv ist, oberhalb der Raumtemperaturen des Schlafzimmers und auch des Wohnbereiches. Zum einen liegen die Sensoren etwa 2 m höher als der Sensor des Wohnbereiches, zum anderen werden beide Sensoren vermutlich durch die Wärmeverluste des Speichers beeinflusst. Dafür spricht auch ein Absinken der Temperaturen über die Zeit mit der Entladung des Speichers. Während die Temperatur am Zuluft-Sensor während des Betriebs der Wärmepumpe auf die Schlafzimmertemperatur sinkt, sinkt die des Sensors in der Abluft auf teilweise unter 10 °C. Mit der Temperatur des Speichers steigt auch die Ablufttemperatur im Betrieb der Wärmepumpe wieder an.

Die Schlafzimmertemperatur sinkt nach dem Einschalten der Wärmepumpe um etwa 0,5 K ab und nähert sich dann langsam wieder dem Ausgangszustand. Im hier dargestellten Zeitraum lag die Minimaltemperatur bei 14,7 °C, die Maximaltemperatur bei 15,6 °C, außer am sonnigen 10. Januar, an dem auch der Rest der Wohnung durch die Sonneneinstrahlung deutlich wärmer war. Gegebenenfalls war die ansonsten geschlossene Schlafzimmertür in dieser Zeit offen. Dafür spricht auch der Anstieg der relativen Luftfeuchte in diesem Zeitraum. Die Mitteltemperatur im Schlafzimmer lag bei 15,6 °C und wurde zum Schlafen als sehr angenehm empfunden.

Die relative Luftfeuchte ist im Schlafzimmer nahezu konstant und pendelt um 40%. Durch die Abkühlung der Luft in der Wärmepumpe fällt am Wärmetauscher Tauwasser aus, das wie beschrieben abgeführt wird. Der Mittelwert der beschriebenen Periode lag im Schlafzimmer bei 40,1 % rh, im Wohnbereich bei 40,6 %. So hat die Brauchwasser-Wärmepumpe einen leicht entfeuchtenden Einfluss auf den Feuchtehaushalt des Gebäudes, der aber als nicht signifikant erscheint.

Energiekosten

Abbildung 12 zeigt die abgerechneten Energiekosten in €/m²a) des dargestellten Zeitraumes sowie die Gradtagzahlen in kWh/a.

Um die Jahre vergleichbar zu machen wurden die Energiepreise des Jahres 2025 gewählt: Strom 31,6 Cent/kWh (ohne Zählergebühr), Flaschengas 18,0 Cent/kWh, entsprechend 2,32 €/kg (ohne Transportkosten). Einspeisevergütung für den PV-Strom: 18,7 Cent/kWh. Da sich Strom- und Gaspreise in den vergangenen 14 Jahren deutlich erhöht haben, die Einspeisevergütung aber gleich blieb, ergaben sich in den ersten Jahren tatsächlich deutliche Überschüsse.

Zunächst ist anzumerken, dass die Energiekosten unabhängig von der Art der Beheizung mit Werten zwischen 5 ... 8 €/m²a), entsprechend 600 ... 1.000 €/a für Warmwasser, Heizung und Haushaltsstrom extrem niedrig liegen.

In den Jahren mit direkt elektrischer Heizung sind die Kosten am höchsten, in jenen mit Gasheizung und mit der Luft-Wasser Wärmepumpe am niedrigsten. Wird die Einspeisevergütung gegen gerechnet, liegen die Energiekosten in diesen Jahren, abgesehen von 2021/2021, als der Wechselrichter ausfiel, unter 0 €. Trotz dem Fehlen der solarthermischen Anlage in 2024/2024 liegen die Energiekosten in diesem Jahr weiterhin um den Nullpunkt. Würden die 16 m² Vakuum-Röhrenkollektoren durch PV-Paneele ersetzt (diese Maßnahme ist geplant) und gleich vergütet, ergäbe sich in 2024/2025 ein deutlich negativer Wert. 2025/2026 erreichen die Energiekosten (Heizung, Warmwasser, Hilfs- und Haushaltsstrom) wegen der Brauchwasser-Wärmepumpe trotz des kältesten Jahres im Betrachtungszeitraum mit 4,64 €/m² ihr Minimum. Davon sind 1,53 € Heizwärmekosten.

Abzüglich Einspeisevergütung ergeben sich in Summe sogar negative Energiekosten von -2,01 €/m².

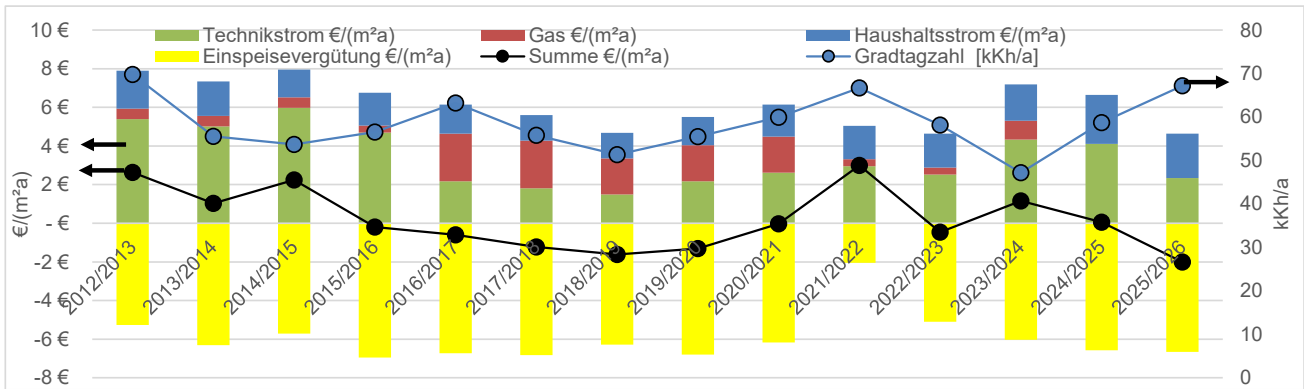


Abbildung 12: Energiekosten und Einspeisevergütung im Betrachtungszeitraum. © Krick

Die Investitionskosten der Brauchwasser-Wärmepumpe sind mit ca. 2.000 € um etwa einen Faktor 5 höher als bei einem elektrischen Durchlauferhitzer. Dafür liegen die Stromkosten für die direkt-elektrische Variante bei etwa 210 €/a, für die Brauchwasser Wärmepumpe bei knapp 90 €. Bei dieser Kostendifferenz kann eine Amortisationszeit von ca. 13 Jahren erwartet werden. Vorteile des Systems sind der deutlich geringere Leistungsbedarf und die hierdurch bessere Kompatibilität mit photovoltaischer Stromerzeugung, die durch Eigenverbrauch wesentlich niedrigere Betriebskosten und damit eine schnellere Amortisation ermöglicht. Zudem ist der Warmwasserverbrauch des vorgestellten Gebäudes untypisch gering (ca. 25 l/(P*d)). Bei typischen Verbräuchen (ca. 40 l/(P*d)) werden geringere Amortisationszeiten erreicht.

Fazit

Im Beitrag wurde die, trotz des jungen Gebäudealters, bewegte Geschichte der Wärmeversorgung des Gebäudes dargestellt. Allen Varianten gemein sind sehr niedrige Energiekosten. Diese zeigen erneut, dass nach Passivhaus-Kriterien errichtete Gebäude funktionieren und dass der Betrieb mit unterschiedlicher Technik möglich und leistbar ist.

Die hier näher beleuchteten Luft-Luft-Wärmepumpen erweisen sich als vollständig funktionierendes, mit Arbeitszahlen um 3,5 effizientes und mit Investitionskosten um 55 €/m² vor- und 40 €/m² nach Abzug von Förderungen sehr kostengünstiges Heizsystem – zumindest für hochenergieeffiziente Gebäude. Mit Jahresarbeitszahlen um 3,5 ergeben sich Heizwärmekosten 1,53 €/m².

Für die im Umluftbetrieb arbeitende Brauchwasser-Wärmepumpe konnten Jahresarbeitszahlen um 2,3 inkl. Speicherverluste abgeschätzt werden. Gegenüber einem elektrischen Durchlauferhitzer kann im Beispiel mit sehr geringem Warmwasserverbrauch mit einer Amortisationszeit von ca. 13 Jahren gerechnet werden, bei einem üblichen Verbrauch mit etwa 7-8 Jahren. In Verbindung mit einer eigenen PV-Anlage kann die Amortisationszeit weiter verkürzt werden.

Die wahrnehmbaren Strömungs- und Kompressor-Geräusche werden nicht als störend empfunden. Durch den Umluftbetrieb ergibt sich die Möglichkeit des sommerlichen Top-Coolings. Der Eingriff in den Feuchtehaushalt des Gebäudes ist vernachlässigbar.

Quellenverzeichnis

- [Ariston] Ariston Holding N.V.: Datenblatt der Nuos Evo A+ (ohne Datum). Download unter <https://www.ariston.com>
- [Daikin] DAIKIN AIRCONDITIONING CENTRAL EUROPE Handels GmbH: *Datenblatt Daikin Perfera*. Wien, Dezember 2025.
- [Krick 2008] Krick, B.: *Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich eines Energie- und Kostensparenden Bauens unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise*. Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel. Kassel University Press, 2008.
- [Krick 2016] Krick, B.: *Ein Passivhaus aus Strohballen*. In: Feist, W. (Hrsg.): Tagungsband der 20. Internationalen Passivhaustagung 2016 in Darmstadt. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2016.
- [Meteonorm] Meteonorm Version 8.2.0.24079. Datensätze für den Standort Seeheim (Seeheim-Jugenheim) erzeugt durch Jürgen Schnieders, zu Datensätzen September ... August aggregiert durch Benjamin Krick
- [Minke 2023] Minke, Krick: *Handbuch Strohballenbau – Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele*. Ökobuch Verlag, Staufen 4. Auflage, 2023. ISBN 978-3-936896-78-7
- [PHPP 10.6] Feist et.al.: PHPP. *Passivhaus-Projektierungspaket. Das Energiebilanzierungs- und Planungstool für effiziente Gebäude und Modernisierungen*. Version 10.6, Darmstadt 2024.