

■

● TECHNISCHER ENERGIEBERICHT

1. 1. Einleitung und Systemkontext: Hybride Wärmepumpen-/Solaranlage ohne Flächen-Referenzwert bewertbar

Standort und Gebäude

Wärmeerzeugung

Wärmeverteilung und Speicher

Kälterzeugung und Steuerung

2. 2. Messmethodik und Datenqualität: Belastbare Anlagenmuster nur aus dem ~6-Monats-Fenster Ende Dezember 2025 bis Anfang Juli 2026

3. 3. Betriebsverhalten der Anlage: Wärmepumpen im Lead-Lag- und Warmwasser-Vorrangbetrieb, Verteilkreise mit unterschiedlicher hydraulischer Qualität

Saisonale Raumheizung trifft auf ganzjährig konstante Warmwasserbereitung

Wärmepumpen im Zweizustands-Betrieb statt kontinuierlicher Teillastregelung

WP1 und WP2 im Lead-Lag-Betrieb, Heizkurve ohne saisonalen Drift

Verteilkreise: Klimaboden DG nahe der Auslegung, Wandheizung DG und Fußbodenheizung EG deutlich darunter

Pufferspeicher: häufige Durchmischung statt stabiler Schichtung

Solarertrag und Ölkessel folgen erkennbar der Witterung

Nennlastverhalten, Nutzungsprofil Büro und Heizstab-Aktivität

4. 4. Gesamtlasten und Jahresbilanz: Wärmeabgabe von rund 73.282 kWh im Messfenster, hochgerechnet auf rund 128.389 kWh/a

Wärmeabgabe im Messfenster

Lastdauerlinie und Wochenmuster

Solarthermie, Ölkessel und Stromseite bleiben ohne belastbare Energiebilanz

Jahreshochrechnung: Heizgradtag-Verfahren auf rund 128.389 kWh/a

WP1/WP2 folgen dem Heizgradtag-Modell gut, für WP3 ergibt sich eine Bandbreite von 72.000 bis 89.000 kWh/Jahr

Zwei Kreuzvalidierungsversuche gegen reale Zähler sind gescheitert

5. 5. Hinweise für Fachplaner: Datenqualität und hydraulischer Abgleich vor Investitionsentscheidungen

Defekte Zähler und fehlende Messstellen sind Voraussetzung, nicht nachrangiger Punkt

Hydraulischer Abgleich der vier Verteilkreise: Einregulierung empfohlen, Auffälligkeit bei Wandheizung DG vorrangig zu klären

Pufferspeicher-Ladehydraulik: Neuberechnung vor jeder Investitionsentscheidung

WP1/WP2-Lastverteilung und WP3-Dominanz: Regelungsprüfung vor Hardware-Eingriff, Herstellerkennlinien erforderlich

Wetterkompensierte Heizkurve: Feinabstimmung, kein Grundmangel

Warmwasserbereitung WP3: Hygienetechnische Prüfung vor jeder Effizienzoptimierung

Ölkessel-Backup: Weiterbetrieb als Redundanz vertretbar, Förderfähigkeit eines Rückbaus vor Entscheidung klären

Solarkollektor-Reihenasymmetrie: Niedrige Priorität, hydraulische Verschaltung prüfen

Nutzungsprofil-Regelung Büro versus Wohnen: bestehende Differenzierung formalisieren statt neu einführen

Priorisierung und Einbindung der Gewerke

6. 6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (grobe Ranges): Rund 29.000–64.000 kWh/Jahr belastbar quantifiziertes Potenzial

Hydraulischer Abgleich und Pufferspeicher-Optimierung tragen das größte quantifizierte Potenzial

Heizkurven-Feinabstimmung: kleiner, aber gesichert quantifizierbarer Beitrag

Warmwasserbetrieb WP3: rechnerische Obergrenze bis rund 55.000 kWh/Jahr, realer Wert nicht seriös eingrenzbar

Nutzungsprofil-Formalisierung Büro: Größenordnung ist eine Überschätzung, kein eigenständiger Planungswert

WP-Kaskadenlogik und Solarkollektor-Symmetrie: keine belastbare Spanne ohne weitere Datenbasis

Ölkessel-Rückbau: Förderrahmen statt Einsparzahl

Mess-Infrastruktur als Vorbedingung ohne eigenen Kosten-Nutzen-Wert

Quellenverzeichnis

Anhangverzeichnis

Anhang D: Dokumentinformation

Glossar

△ Zu prüfende Konsistenz-Punkte

Messkonfiguration — Hinweis zu ungeklärten Kanälen

Nicht geklärte Interpretation einzelner Messgrößen

⚠ **Datengrundlage eingeschränkt:** 48 von 138 Messkanälen (35 %) ließen sich keiner Anlagenkomponente eindeutig zuordnen. Diese Kanäle sind ausgewertet, ihre räumliche Zuordnung ist jedoch unsicher – die Ergebnisse sind entsprechend vorsichtig zu interpretieren.

title: Energieanalyse Report date: "3. August 2026"
author: WerkING Energy project:
"Engelmann_Sarmingstein_-
_Frischlauf_02.08._20260802123345"



HINWEIS ZUR BERICHTSERSTELLUNG

Dieser Energiebericht basiert auf einer KI-gestützten Analyse der vom Auftraggeber bereitgestellten Messdaten und Anlagendokumentation. Bei der Erstellung wurden Large Language Models (LLMs) eingesetzt.

Der Bericht wurde automatisch erstellt; eine fachliche Prüfung durch das herausgebende Unternehmen ist vorbehalten. Die Verantwortung für Inhalt, Methodik und Schlussfolgerungen trägt ausschließlich das Unternehmen, das diesen Bericht an den Endempfänger ausliefert.

Der Anbieter stellt ausschließlich die Software-Infrastruktur bereit und übernimmt keine Haftung für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Verwendbarkeit der Berichtsinhalte.

1. Einleitung und Systemkontext: Hybride Wärmepumpen-/Solaranlage ohne Flächen-Referenzwert bewertbar

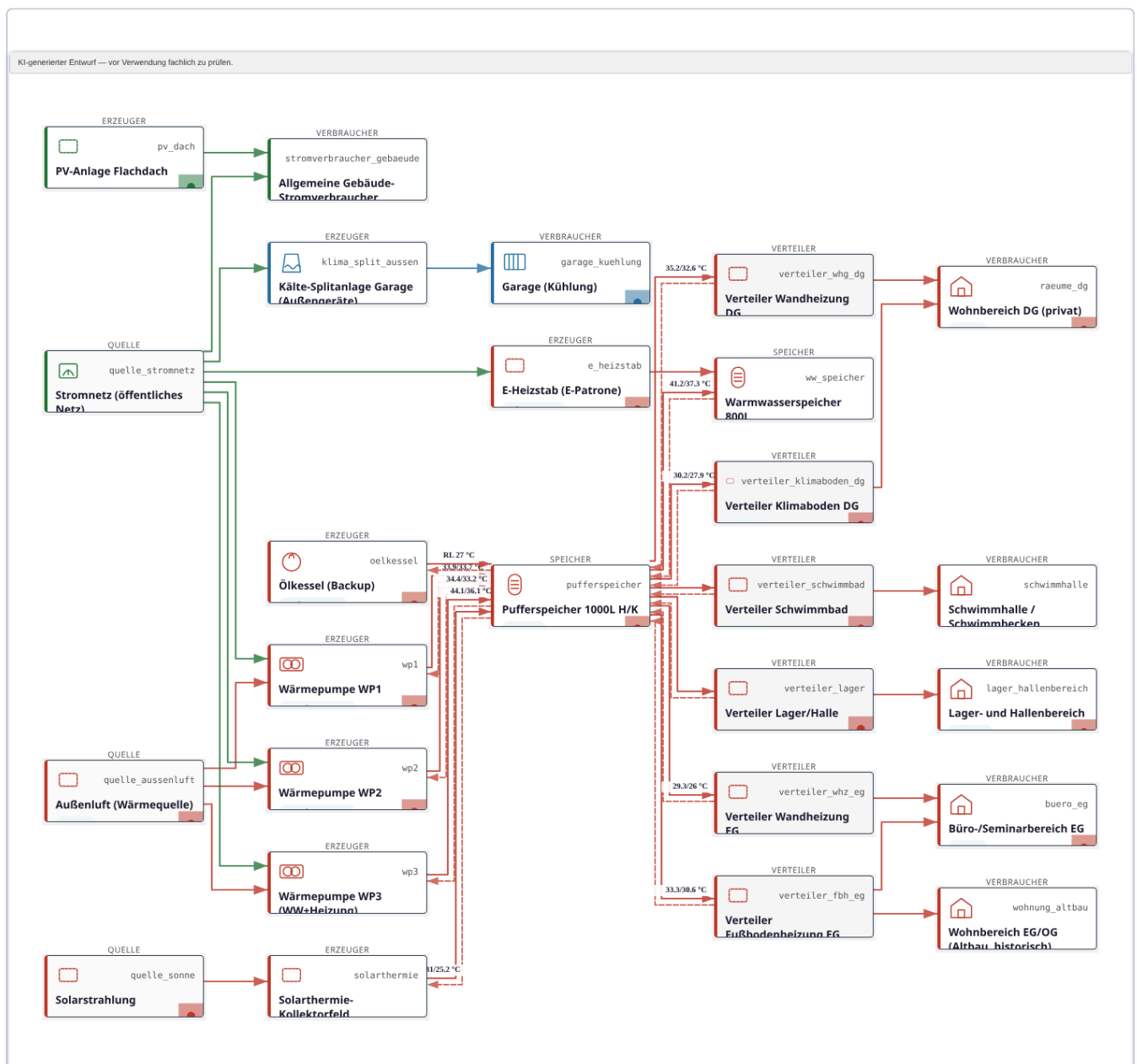


Abbildung: Anlagenschema — Systemübersicht der erfassten Anlage (Quelle: Außenluft (Wärmequelle), Solarstrahlung, Stromnetz (öffentliches Netz); Erzeugung: PV-Anlage Flachdach, Wärmepumpe WP1, Wärmepumpe WP2, Wärmepumpe WP3 (WW+Heizung) u. 4 weitere; Speicherung: Pufferspeicher 1000L H/K,

KI-generierter Entwurf — vor Verwendung fachlich zu prüfen.

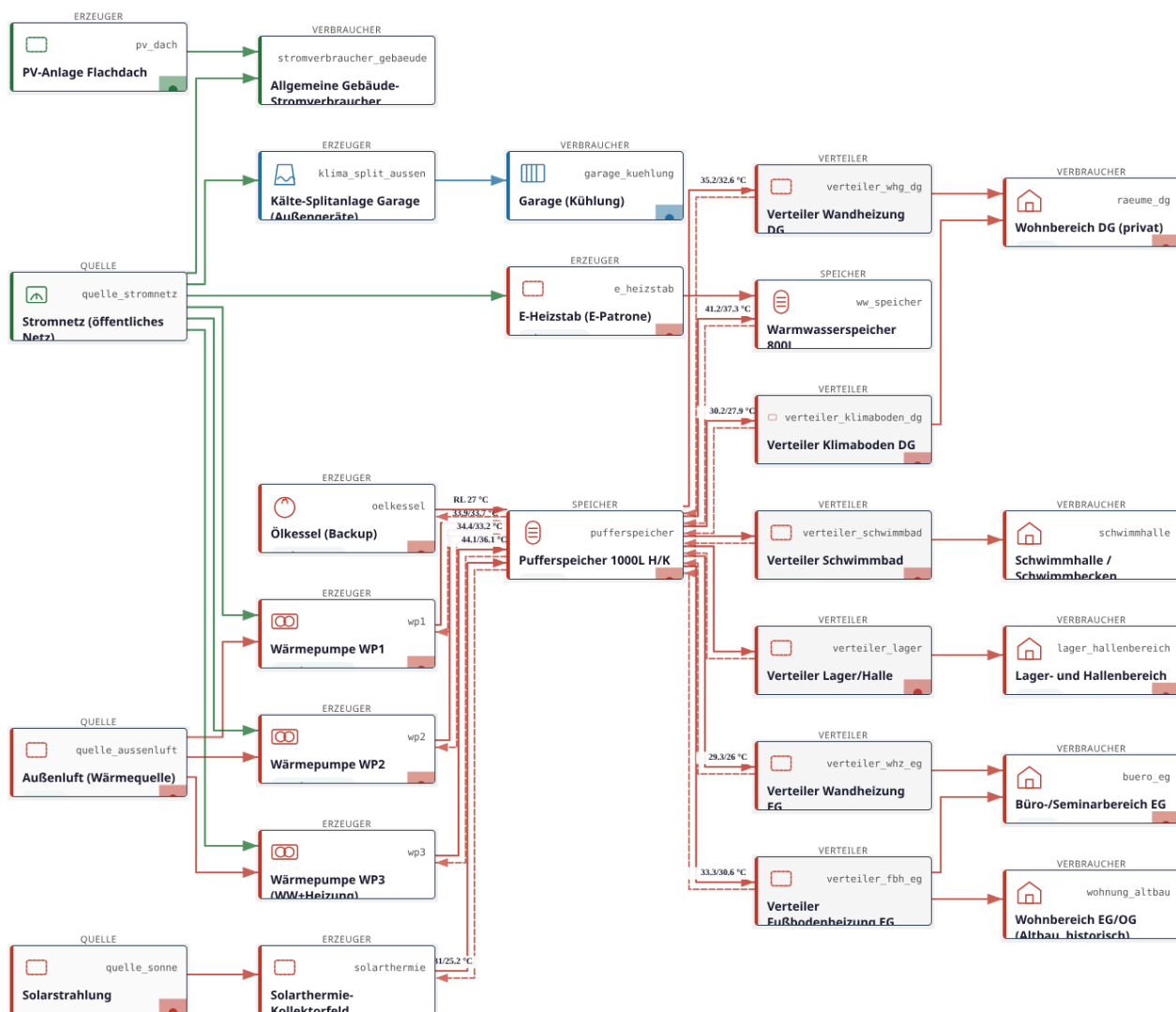


Abbildung: Anlagenschema — Systemübersicht der erfassten Anlage (Quelle: Außenluft (Wärmequelle), Solarstrahlung, Stromnetz (öffentliches Netz)); Erzeugung: PV-Anlage Flachdach, Wärmepumpe WP1, Wärmepumpe WP2, Wärmepumpe WP3 (WW+Heizung) u. 4 weitere; Speicherung: Pufferspeicher 1000L H/K, Warmwasserspeicher 800L; Verteilung: Verteiler Fußbodenheizung EG, Verteiler Klimaboden DG, Verteiler Wandheizung EG, Verteiler Wandheizung DG u. 2 weitere; Verbraucher: Büro-/Seminarbereich EG, Wohnbereich DG (privat), Wohnbereich EG/OG (Altbau, historisch), Schwimmhalle / Schwimmbecken u. 3 weitere). Dargestellte Energieflüsse: Wärme, Strom, Kälte. 90 Messstellen aus den hochgeladenen Zeitreihen sind den Systemen zugeordnet. Automatisch aus der im Daten-Wizard bestätigten Systemtopologie generiert.

◆ Objekt- und Anlagenübersicht

Sarmingstein 42, A-4382 Sarmingstein

- ◆ **Auftraggeber/Eigentümer:** Engelmänn Energiesysteme GmbH – Firmensitz mit teilweise privater Nutzung
- ◆ **Gebäudestruktur:** Altbau (Wohnbereich DG/EG/OG, Satteldach) und Gewerbeteil (Büro, Lager, Schwimmhalle, PV auf Flachdach)
- ◆ **Wärmeerzeugung:** 3 Luft-Wasser-Wärmepumpen (WP1/WP2 Raumheizung, WP3 Warmwasser + Zusatzheizung), Solarthermie 51,2 m², Ölkessel-Backup 35 kW, E-Heizstab 6 kW
- ◆ **Zentrale Speicher:** Pufferspeicher 1.000 l (H/K), Warmwasserspeicher 800 l + Register
- ◆ **Verteilkreise:** 6 Kreise: Fußbodenheizung EG, Klimaboden DG, Wandheizung EG, Wandheizung DG, Schwimmbad, Lager
- ◆ **Flächen-Benchmark:** nicht möglich – kein Energieausweis, keine Gesamt-Nettogeschossfläche dokumentiert

Für die Liegenschaft Sarmingstein 42 liegt weder eine Gesamt-Nettogeschossfläche noch ein Energieausweis mit Heizwärmebedarf oder Effizienzklasse vor [Q2][Q3]. Eine Einordnung der Energiekennzahlen dieses Objekts gegen einen Flächen-Benchmark (kWh/m²·a) oder eine Baualtersklasse ist mit den bereitgestellten Unterlagen daher nicht möglich – der einzige dokumentierte Flächenwert ist die Grundstücksfläche von 1.559 m² [Q2], die als Bezugsgröße für Verbrauchskennzahlen ungeeignet ist. Die folgenden Kapitel arbeiten deshalb mit Absolutwerten, mit der eigenen Historie der Anlage soweit die Datenlage sie hergibt, und mit anlagentechnischen Auslegungswerten der einzelnen Komponenten – nicht mit einer Gebäude-Flächenkennzahl.

Auftrag dieses Berichts ist die Analyse des Energieeinsparpotenzials der Liegenschaft auf Basis der aktuellen Messkampagne. Die im Anlagenschema dokumentierte Umstellung von der bestehenden Ölheizung auf eine Luft-Wärmepumpen-Anlage mit Solarthermie-Unterstützung bildet dabei den technischen Rahmen der untersuchten Anlage, ist aber selbst nicht Gegenstand einer gesonderten Bauprojektbewertung – die vorliegenden Bau- und Anlagenunterlagen dienen ausschließlich der Beschreibung des Bestands, gegen den die Messdaten ausgewertet werden.



KEIN FLÄCHEN-BENCHMARK MÖGLICH

Ohne Energieausweis und ohne Gesamt-Nettogeschossfläche entfällt die standardmäßig an dieser Stelle vorgesehene Einordnung der Objekt-Kennzahlen gegen den Referenzkatalog (kWh/m²·a, Effizienzklasse). Sollte ein Energieausweis nachgereicht werden, kann diese Einordnung nachträglich ergänzt werden.

Standort und Gebäude

Die Liegenschaft befindet sich in Sarmingstein 42, A-4382 Sarmingstein (Katastralgemeinde St. Nikola, KG 43016, Grundstücksnummern 209 und 711/1, Einlagezahl 161) [Q2]. Grundeigentümer und Auftraggeber ist zugleich die Engelmann Energiesysteme GmbH, die die Liegenschaft als Firmensitz und teilweise privat nutzt [Q1][Q2]. Ein zweiter Standort in Wien (Top 14A, Franz-Josefs-Kai 53) ist im Datenbestand mit erfasst, gehört aber laut Kundenbestätigung nicht zu dieser Anlagentopologie und bleibt aus der folgenden Analyse ausgeschlossen [Q3].

Baulich besteht die Liegenschaft aus zwei unterschiedlichen Gebäudeteilen: einem Altbau mit steilem, rotem Ziegel-Satteldach, Natursteinsockel und mehreren Kaminen (privater Wohnbereich in Dachgeschoss, Erdgeschoss und Obergeschoss) sowie einem flacher geneigten Gewerbeteil mit der Fassadenbeschriftung *ENGELMANN* und Photovoltaik-Modulreihen auf dem Flachdach [Q1]. Diese bauliche Zweiteilung setzt sich in der Anlagentopologie fort: privater Wohnbereich im Dachgeschoss des Altbaus gegenüber Büro-, Lager- und Schwimmhallenbereich als Gewerbenutzung [Q3]. Das Baujahr des Altbaus ist nicht dokumentiert; der vorliegende Einreichplan datiert vom 21.07.2020 und betrifft einen Um- und Zubau der Liegenschaft, nicht die ursprüngliche Errichtung [Q2].

Genutzte Gebäudebereiche laut Einreichplan-Raummaßen und Anlagentopologie (Stand Einreichplanung 21.07.2020, ggf. durch spätere Umbauten überholt):

- **Büro-/Seminarbereich EG:** Büro Silvia/Manuela, Büro Kurt/Traude, Besprechungsraum (20,04 m²), zwei weitere Büroflächen (21,17 m² und 23,16 m²), Schulungs-/Präsentationsraum (32,45 m²) [Q2][Q3]
- **Wohnbereich DG (privat, Altbau):** Ankleideraum, Arbeitszimmer, Badezimmer, Schlafzimmer, Wohnraum [Q3]
- **Wohnbereich Altbau EG/OG:** historische, monatlich abgelesene Zone; Zuordnung zur aktuellen Anlage ist unsicher, da im Anlagenschema 2025 nicht referenziert [Q1][Q3]
- **Schwimmhalle:** Beckenfläche 97,30 m² laut Einreichplan bzw. 107,85 m² Fliesenfläche [Q2]
- **Lager-/Hallenbereich** inkl. einer historischen Turnsaal-Zone mit dokumentierter Aktivität bis ca. 2015; Lagerteilflächen u. a. 132,29 m² und 98,60 m² [Q2][Q3]
- **Garage** mit Kälte-Splitanlage (3 Innengeräte), ohne eigene Messkanäle [Q1][Q3]

Der Einreichplan weist ausdrücklich darauf hin, dass er ausschließlich als behördliche Genehmigungsgrundlage dient und keine Angaben zu Heizungs-, Kühlungs- oder Solar-/PV-Systemen enthält [Q2]. Das Anlagenschema *Heizen und Kühlen* der Engelmann Energiesysteme GmbH (Plan-Code 12-390_ENG_5-AFP_A_SCH, Index A „Ergänzung Dimensionierung WP-Anlage“, datiert 27.06.2025) ist damit die einzige verlässliche Quelle für die Heizungs-, Kühlungs- und Solartechnik der Liegenschaft [Q1][Q2]. Sein Datum fällt zeitlich exakt mit dem Beginn der dichten Messdatenerfassung der neuen Gebäudeautomation zusammen, was auf eine neue Gebäudeleittechnik im Zuge der Wärmepumpen-Umstellung hindeutet [Q3].

Wärmeerzeugung

Die Anlage verfügt über vier Wärmeerzeuger, die gemeinsam auf einen zentralen Pufferspeicher laden:

- **WP1 und WP2** – zwei baugleiche Luft-Wasser-Wärmepumpen in Split-Ausführung, Außenaufstellung. Auslegung: Heizleistung 10,9 kW bei Vorlauf 55 °C / Außentemperatur -7 °C, Kühlleistung 12,5 kW bei 7 °C/35 °C, Kältemittel R290 (Füllgewicht 1,2 kg je Gerät), Betriebsstrom Heizen 16,2 A / Kühlen 14,3 A, Anlaufstrom 20 A, Spannung 230 V [Q1]. Beide Geräte laden ausschließlich den zentralen Pufferspeicher, ohne eigene Verbraucherkreise [Q1][Q3].
- **WP3** – baugleich in der Grundauslegung, jedoch dediziert für Warmwasserbereitung mit unterstützender Heizungsfunktion; betreibt laut Anlagenschema ein höheres Vorlauftemperaturniveau als WP1/WP2 [Q1][Q3].
- **Solarthermie** – Flachkollektorfeld mit 10 Kollektoren, Gesamtfläche 51,2 m², Peakleistung 35,84 kW, Verschaltung 5 Kollektoren seriell × 2 Stränge parallel, Massenstrom je Strang 0,097 kg/s (gesamt 0,1957 kg/s), flächenbezogener Volumenstrom 13,16 l/m²h, Solarkreis mit 40 % Glykol/Wasser-Gemisch betrieben [Q1]. Lädt ebenfalls den Pufferspeicher.
- **Ölkessel (Backup)** – Viessmann Vitoladens 300-T, 35 kW, als Bestandskessel in die neue Hybridanlage integriert und lädt ebenfalls den Pufferspeicher, vorgesehen für Spitzenlast- oder Ausfallabdeckung [Q1][Q3].
- **Elektrischer Heizstab** – 6 kW, dient laut Anlagenschema primär als Backup-Nachheizung des Warmwasserspeichers, unabhängig von den Wärmepumpen [Q1].

KOMPONENTE	TYP	LEISTUNG (AUSLEGUNG)	KÄLTEMITTEL
WP1	Luft-Wasser-WP, Split	H 10,9 kW (55 °C/-7 °C), K 12,5 kW (7 °C/35 °C)	R290, 1,2 kg
WP2	Luft-Wasser-WP, Split, baugleich WP1	H 10,9 kW, K 12,5 kW	R290, 1,2 kg
WP3	Luft-Wasser-WP, dediziert WW + Heizung	H 10,9 kW (Design-VL 55 °C)	R290
Solarthermie	Flachkollektor, 2 Reihen	35,84 kW Peak, 51,2 m²	–
Ölkessel	Viessmann Vitoladens 300-T, Backup	35 kW	–
E-Heizstab	Elektrisch, WW-Backup	6 kW	–
Kälte-Split-Außen	Multi-Split, 3× Außengerät FHBW168B0	⚠ nicht dokumentiert	R290

Wärmeverteilung und Speicher

Zentrales hydraulisches Element ist ein **Pufferspeicher mit 1.000 l Inhalt (Heizen/Kühlen)**, der von WP1–3, der Solarthermie und dem Ölkessel geladen wird und alle Verbraucherkreise versorgt [Q1]. Der Speicher verfügt über getrennte Anschlussebenen für Ladeseite (Erzeuger) und Speicherseite (Verbraucher), eine Temperaturschichtung oben/unten sowie einen separaten Fühler an der

hydraulischen Weiche – eine klassische Vier-Anschluss-Konfiguration mit hydraulischer Trennung von Erzeuger- und Verbraucherkreis [Q1]. Ein Ausdehnungsgefäß mit 80 l Volumen (IMI Pneumatex) sichert den Pufferkreis ab [Q1].

Nachgeschaltet versorgt ein **Warmwasserspeicher mit 800 l Inhalt und Register** die Trinkwassererwärmung, geladen über den Pufferspeicher sowie den elektrischen Heizstab als Backup; eine Frischwasserstation in der Waschküche EG ist nachgeschaltet [Q1]. Ein zweites, kleineres Ausdehnungsgefäß (50 l, Reserve) ist dem Waschküchen-/Warmwasserbereich zugeordnet [Q1].

Vom Pufferspeicher aus werden sechs Verteilerkreise versorgt [Q1][Q3]:

- **Fußbodenheizung EG** – versorgt Büro-/Nutzflächen im EG sowie den Altbau-Wohnbereich EG/OG; Bestandsverteiler-Leitungen wurden laut Anlagenschema-Vermerk in diesen Kreis eingebunden [Q1].
- **Klimaboden DG** – versorgt die Wohnräume im Dachgeschoss des Altbaus; das Anlagenschema erwähnt zusätzlich einen „Verteiler DG Kühldecke“, was auf eine mögliche sommerliche Kühlfunktion dieses Kreises hindeutet [Q1][Q3].
- **Wandheizung EG** – ergänzt die Fußbodenheizung EG im Büro-/Besprechungsbereich [Q1][Q3].
- **Wandheizung DG** – ergänzt den Klimaboden DG in den privaten Wohnräumen des Dachgeschosses [Q1][Q3].
- **Schwimmbad** – versorgt Fußbodenheizung, Gebläsekonvektoren und über ein 6-Wege-Ventil mit Skimmer-Anbindung die Beckenheizung der Schwimmhalle; auch hier wurde laut Plan-Vermerk in bestehende Leitungen eingebunden [Q1].
- **Lager** – versorgt Gebläsekonvektoren im Lager-/Hallenbereich (Halbstock) [Q1].

Die Verteilung erfolgt über ein System von 21 im Anlagenschema gelisteten Umwälzpumpen, überwiegend Wilo Stratos PICO bzw. Yonos PICO sowie einzelne Biral- und Grundfos-Pumpen; die genaue Zuordnung einzelner Pumpennummern zu Kreisläufen ist im Plan nicht durchgängig lesbar dokumentiert [Q1].

| Kälteerzeugung und Steuerung

Getrennt von der Heizhydraulik versorgt eine **Kälte-Splitanlage** mit drei Außengeräten (Typ FHBW168B0, Kältemittel R290) drei Innengeräte im Garagenbereich [Q1]. Für dieses System sind im Datenbestand keine eigenen Messkanäle vorhanden [Q3]. Ein im Anlagenschema separat vermerktes Kälte-Textfeld (Kältebedarf 10 kW, Kälteleistung gestuft 6,0/12,0 kW bei COP 3,5) ist diesem System nicht sicher zuzuordnen und bedarf einer Klärung mit dem Auftraggeber [Q1][Q3].

Die Gebäudeautomation basiert auf CAN-Bus-Technologie mit eigenen Diagnosekanälen für Systemzustand und Zeitsynchronisation; diese sind für die Energiebilanz ohne Bedeutung [Q3]. Die zeitliche Koinzidenz zwischen dem Anlagenschema-Datum (Ende Juni 2025) und dem Beginn der dichten Messdatenerfassung deutet auf eine im selben Zug installierte, neue Gebäudeleittechnik hin [Q3].

Auf dem Flachdach des Gewerbeteils ist eine Photovoltaikanlage vorhanden, die auf dem verfügbaren Luftbild eindeutig erkennbar ist; Leistung, Modulanzahl und Baujahr sind jedoch nicht dokumentiert und im Datenbestand ohne zugeordneten Ertragskanal [Q1][Q3]. Diese Anlage wird in den folgenden Kapiteln nicht quantitativ berücksichtigt, da keine Messdaten dazu vorliegen.

DATENGRUNDLAGE: Ihre Unterlagen · Fachrecherche

2. Messmethodik und Datenqualität: Belastbare Anlagenmuster nur aus dem ~6-Monats-Fenster Ende Dezember 2025 bis Anfang Juli 2026

Die Anlage liefert Messdaten aus zwei grundverschiedenen Erfassungsregimen: einer über 22 Jahre geführten, überwiegend manuellen Zählerablesung (2004–2025) und einem dichten 3-Stunden-Raster der neuen Gebäudeautomation, das erst mit der Inbetriebnahme der Wärmepumpen-/Solaranlage Ende Dezember 2025 einsetzt und bis Anfang Juli 2026 reicht [Q3]. Für belastbare Aussagen zum Betriebsverhalten der Anlage ist ausschließlich dieses rund sechsmonatige Fenster der neuen Automation nutzbar; die historischen Ablesungen dienen höchstens als punktuelle Kontrollwerte, nicht als Zeitreihe [Q3].



DQ001

Zwei Erfassungsregime mit sehr unterschiedlicher Aussagekraft

Die Datenbasis umfasst 136 Kanäle über einen technischen Zeitindex von 22 Jahren, von denen die meisten nur 3 bis 260 gültige Werte enthalten – monatliche bis quartalsweise Zählerablesungen aus der Zeit vor der neuen Gebäudesteuerung, kein Sensorausfall. Die daraus resultierende Gesamt-Datenvollständigkeit von 0,6 % ist Folge dieser langen Zeitspanne bei überwiegend händischer Erfassung, kein pauschales Qualitätsproblem [Q3]. Erst mit der neuen Anlagensteuerung (Anlagenschema datiert 27.06.2025 [Q1]) beginnt ein dichtes 3-Stunden-Raster, das sich effektiv von Ende Dezember 2025 bis Anfang Juli 2026 erstreckt [Q3]. Innerhalb dieses Fensters erreichen die Temperaturfühler an Vorlauf, Rücklauf, Puffer, Speicher und in den Räumen Belegungsraten von 38 bis 85 % der theoretisch möglichen Messpunkte und sind damit für Wochen- und Monatsmusteranalysen grundsätzlich geeignet [Q3].



DQ002

Kumulative Wärmemengenzähler für Zeitreihenanalyse ungeeignet

Die kumulativen Wärmemengenzähler von WP1, WP2, WP3, Pufferspeicher, den Verteilerkreisen, Solarthermie und Schwimmhalle verfügen über lediglich 3 bis 20 gültige Werte im gesamten 22-Jahres-Fenster und eignen sich damit weder für Tages- noch für Monatsmuster, sondern höchstens für eine vorsichtige, punktuelle Jahresgrobabschätzung [Q3]. Die zugehörigen Verbrauchs-Periodendifferenzkanäle sind zwar etwas dichter besetzt (12–212 Werte), enthalten jedoch signifikante negative Ausreißer – etwa beim Ölkessel (bis -1.036.768), bei der Fußbodenheizung EG (bis -16.529) oder beim Lager-/Hallenbereich (bis -80.748) –, die auf Zählertausch oder -reset hindeuten und vor jeder Aggregation herausgefiltert werden müssen [Q3].



DQ003

Mehrere Kanäle technisch defekt und ausgeschlossen

Der Verbrauchskanal des elektrischen Heizstabs zeigt trotz aktivem Ansteuersignal durchgehend den Wert null; der tatsächliche Betrieb lässt sich nur über das Rohsignal der Ansteuerung indirekt einschätzen [Q3]. Der berechnete solare Deckungsanteil überschreitet mit Werten bis 3,37 den physikalisch möglichen Bereich zwischen 0 und 1 – ein Skalierungsfehler; dasselbe gilt für das PWM-Signal der Solarpumpe (Werte bis 852 %) [Q3]. Mehrere Raumtemperaturfühler im Dachgeschoss weisen wiederholt exakt 0,0 °C auf – ein Platzhalterwert statt einer echten Messung (Ankleideraum, Arbeitszimmer, Badezimmer, Schlafzimmer) [Q3]. Der Raumtemperaturfühler im Büro Kurt/Traude liegt durchgehend im unplausiblen Bereich und wird komplett ausgeschlossen [Q3]. Diese Kanäle fließen in keine der folgenden Auswertungen ein.

**NUTZBARE DATENBASIS FÜR DIE WEITEREN KAPITEL**

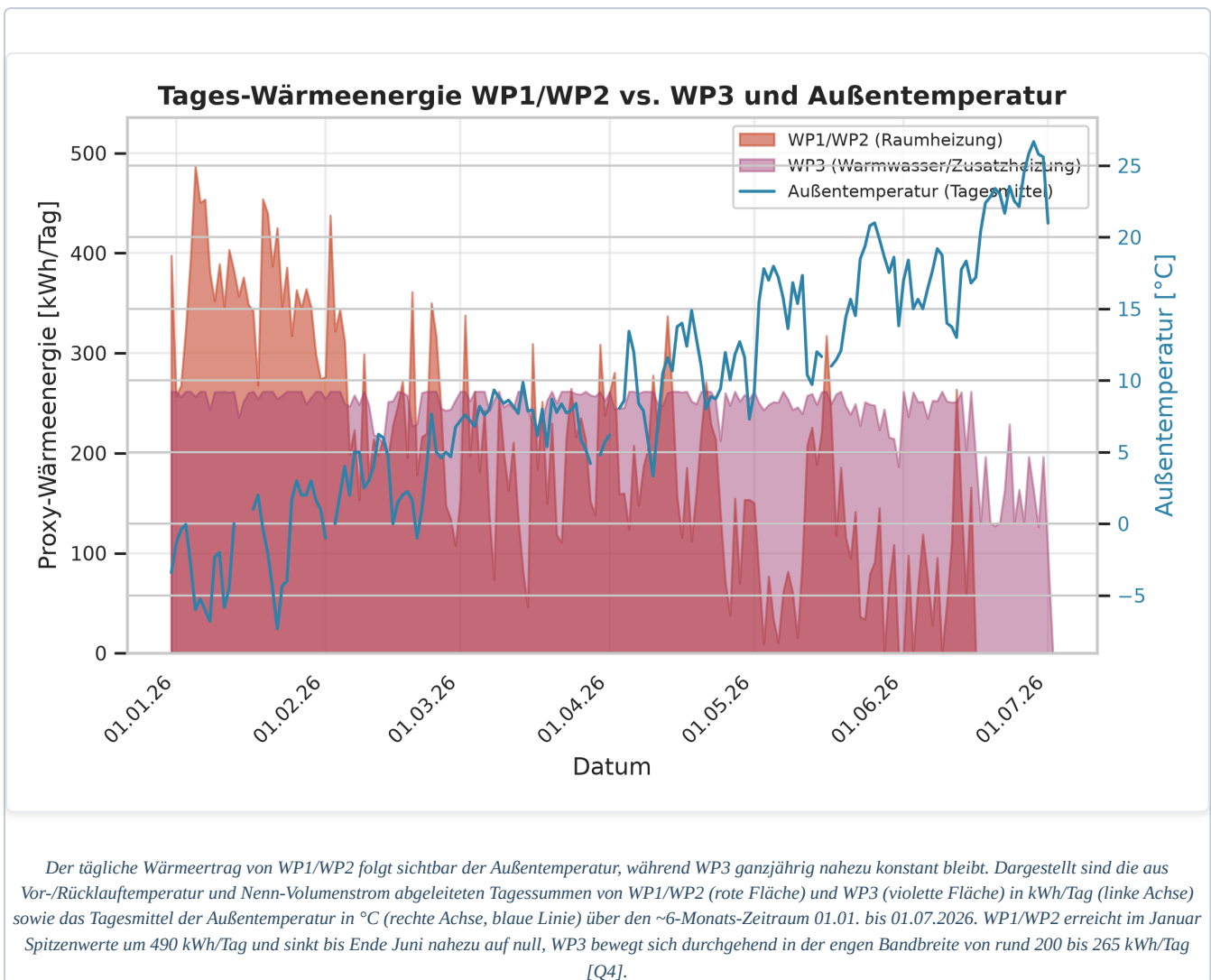
Belastbar für die Musteranalyse in den folgenden Kapiteln sind primär die Temperaturfühler (Vor-/Rücklauf an allen drei Wärmepumpen, Pufferspeicher-Schichtung, Warmwasserspeicher, Verteilerkreise) sowie die Betriebszustandskanäle der Pumpen- und Ventilschaltungen, jeweils beschränkt auf das ~6-Monats-Fenster Ende Dezember 2025 bis Anfang Juli 2026 [Q3]. Elektrische und thermische Verbrauchszähler liefern dagegen nur grobe Trendaussagen, keine Tages- oder Wochenmuster, da sie überwiegend monatlich erfasst sind und teils Zählerreset-Artefakte enthalten [Q3]. Da für WP1, WP2 und WP3 zudem keine direkten Wärmemengen- oder Stromzähler mit ausreichender Messdichte vorliegen, werden sämtliche Leistungs- und Energieangaben zu den drei Wärmepumpen in den folgenden Kapiteln aus Vorlauf-/Rücklauftemperatur und Nenn-Volumenstrom abgeleitet (Proxy-Rechnung), nicht direkt gemessen – diese Einschränkung gilt durchgehend und wird dort nicht mehr wiederholt. Wo spätere Kapitel Werte aus diesen eingeschränkten Kanälen heranziehen, wird die entsprechende Unsicherheit an der jeweiligen Stelle benannt.

3. Betriebsverhalten der Anlage: Wärmepumpen im Lead-Lag- und Warmwasser-Vorrangbetrieb, Verteilkreise mit unterschiedlicher hydraulischer Qualität

Die Wärmepumpen WP1/WP2 (Raumheizung) und WP3 (Warmwasser/Zusatzheizung) zeigen ein deutlich gegensätzliches Lastverhalten, das sich durch das gesamte Messfenster zieht und in mehreren Facetten – Lastverteilung, Betriebszustände, Temperaturführung und hydraulisches Verhalten – näher zu untersuchen ist. Die folgenden Abschnitte bauen dieses Betriebsbild systematisch auf.

Saisonale Raumheizung trifft auf ganzjährig konstante Warmwasserbereitung

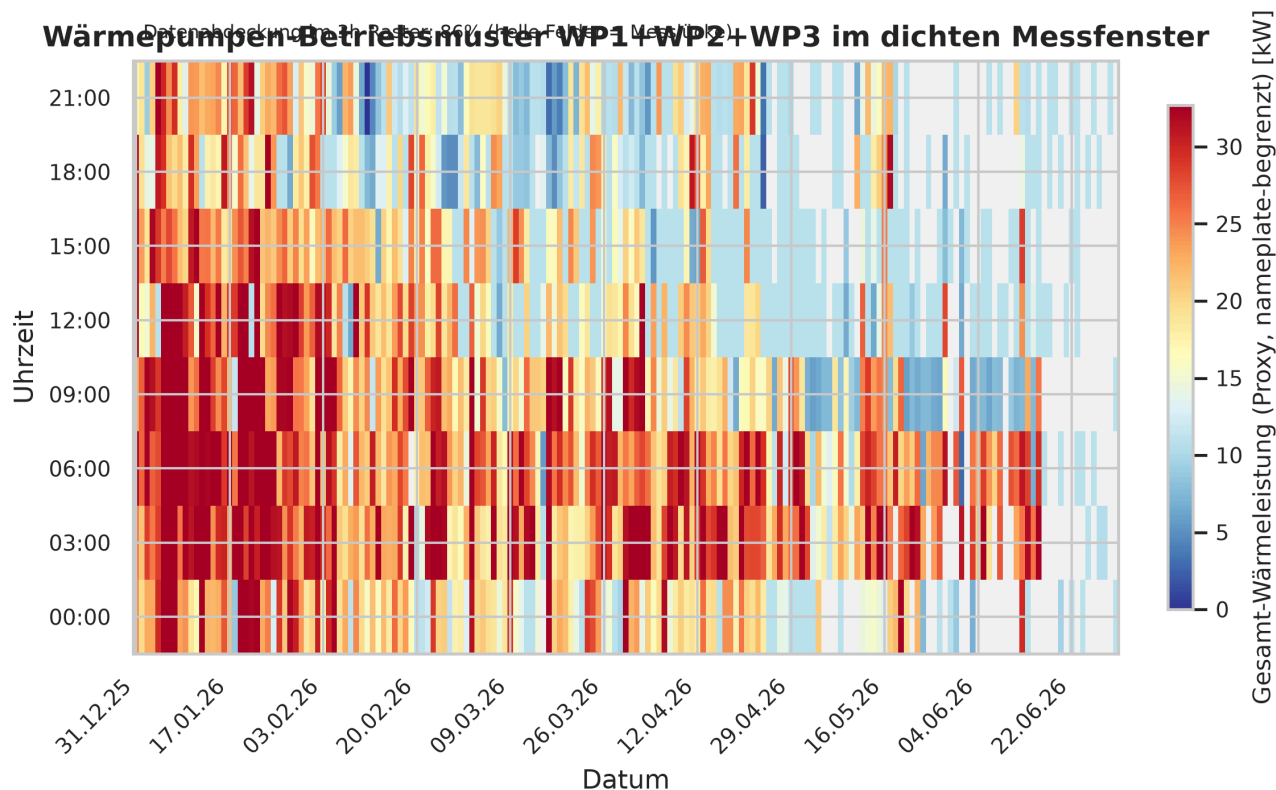
WP1/WP2 liefern im Tagesmittel rund 189,20 kWh/Tag mit starker jahreszeitlicher Schwankung – von 350 bis 490 kWh/Tag im Januar bis nahezu null Ende Juni –, während WP3 ganzjährig nahezu konstant zwischen rund 200 und 265 kWh/Tag liegt [Q4]. Die Streubreite der beiden Lastarten unterscheidet sich entsprechend deutlich: Der Tagesertrag von WP1/WP2 schwankt stark und sinkt saisonal bis auf annähernd null, während WP3 über das gesamte Messfenster – Winter wie Frühsommer – in einer engen Bandbreite bleibt [Q4]. Dieses Muster ist konsistent mit der im Anlagenschema dokumentierten Rollenteilung (siehe Abschnitt 1): WP1/WP2 als reine Raumheizungserzeuger folgen dem Heizwärmebedarf, WP3 als dediziertes Warmwasser-/Zusatzheizungsgerät liefert unabhängig von der Außentemperatur eine weitgehend gleichbleibende Grundlast.



Innerhalb dieses Musters läuft WP3 durchgehend auf einem höheren Temperaturniveau als WP1/WP2 – im Median rund 5 K wärmer im Vorlauf, mit einem im Sommer noch zunehmenden Abstand [Q4]. WP3 trägt dabei im Median rund 53,60 % des gesamten momentanen Systemwärmeausstoßes, zeitweise nahezu 100 % – ein Anteil, der mit sinkender Raumheizlast im Frühjahr weiter steigt [Q4]. Ob diese durchgehende Hochtemperaturhaltung einem periodischen Legionellen-Desinfektionszyklus folgt, lässt sich aus den Temperaturdaten nicht bestätigen: Nur an rund 0,50 % der Tage der Tage werden die für eine Legionellenschutz-Spülung erwarteten ≥ 60 °C-Werte erreicht, ohne erkennbares periodisches Muster. Dieser Befund belegt keine Abwesenheit einer Desinfektionsroutine, sondern zeigt lediglich, dass das gesuchte Muster in den vorliegenden Daten nicht auffindbar ist – die fachliche Einordnung dieser offenen Frage folgt in Abschnitt 5.

Wärmepumpen im Zweizustands-Betrieb statt kontinuierlicher Teillastregelung

Die Auslastung der drei Wärmepumpen bezogen auf ihre Nennleistung häuft sich sichtbar an zwei Punkten – nahe 33 % und nahe 100 % –, mit einem Median von rund 61,80 % über den gesamten Systembetrieb [Q4]. WP1/WP2 liegen dabei die meiste Zeit nahe null Auslastung (0 % Median), WP3 nahezu durchgehend bei voller Auslastung (100 % Median) [Q4]. Dieses zweigeteilte Bild deutet auf einen Betrieb in klar abgegrenzten Schaltzuständen statt auf eine kontinuierliche, leistungsgeregelte Modulation hin; nur rund 6 % der Zeit liegt die Gesamtauslastung unter 30 %. Ob dies dem Auslegungskonzept entspricht oder Optimierungspotenzial anzeigt, wird in Abschnitt 5 im Zusammenhang mit der Kaskadenlogik von WP1/2/3 bewertet.



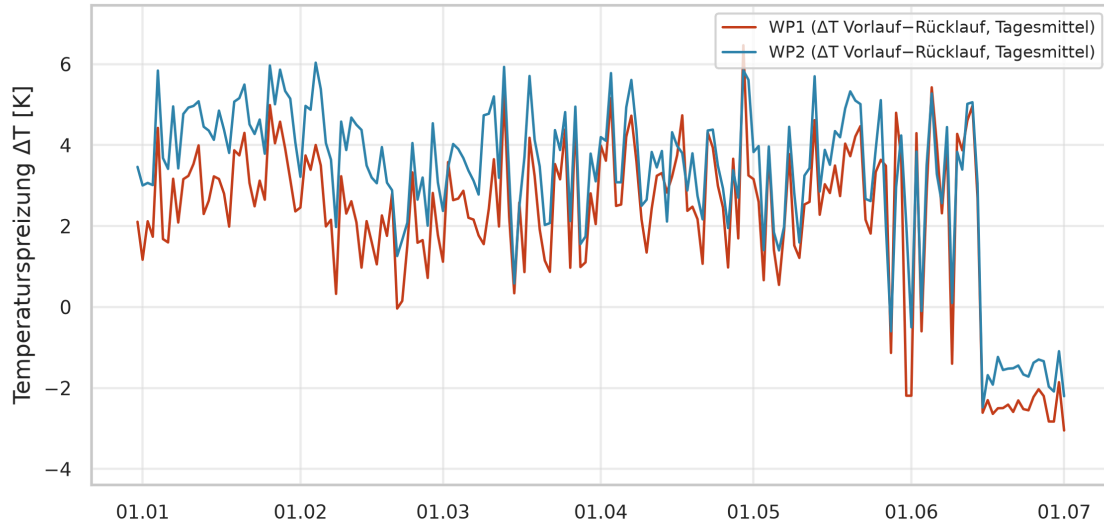
Die kombinierte Wärmeleistung von WP1+WP2+WP3 erreicht in den Wintermonaten, insbesondere nachts, wiederholt ihren rechnerischen Kapazitätsanschlag, während ab Mai überwiegend Teillastbetrieb vorherrscht. Die Heatmap zeigt die kapazitätsbegrenzte Proxy-Gesamtleistung (0 bis rund 33 kW, Farbskala Blau–Gelb–Rot) im 3-Stunden-Raster; die x-Achse trägt den Kalendertag (31.12.2025 bis Anfang Juli 2026), die y-Achse die Uhrzeit, helle Felder markieren fehlende Messwerte bei einer Datenabdeckung von rund 86 % in diesem Ausschnitt. Dunkelrote Zellen vor allem in den frühen Morgenstunden von Dezember bis Februar entsprechen dem oben beschriebenen Volllastbetrieb, blasse Blau- und Gelbtöne ab Mai der reduzierten Sommerauslastung [Q4].

WP1 und WP2 im Lead-Lag-Betrieb, Heizkurve ohne saisonalen Drift

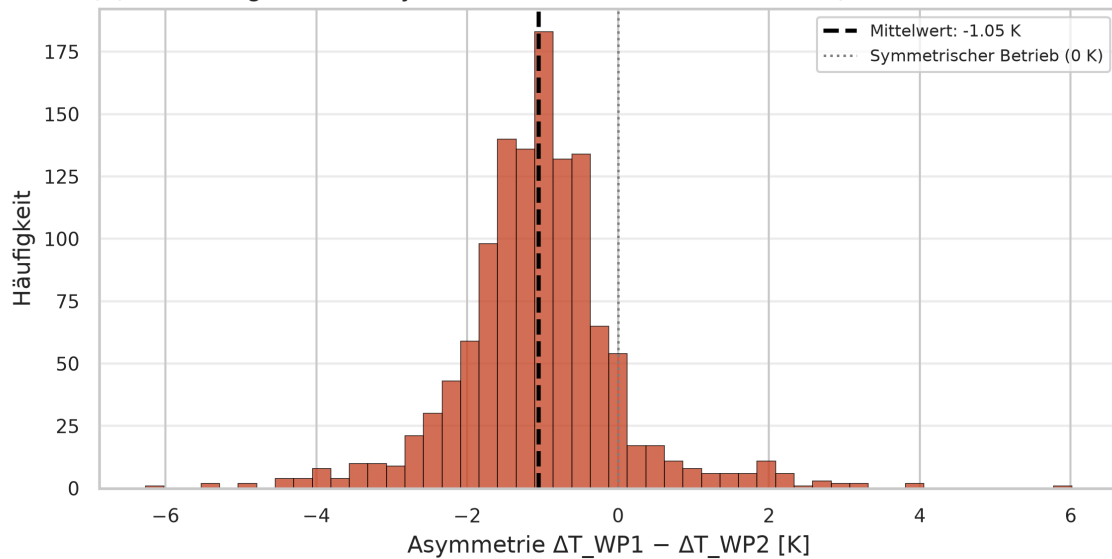
WP1 und WP2 – baugleich ausgelegt und beide ausschließlich Raumheizungs-Erzeuger für den Pufferspeicher – laufen nicht synchron: Die Differenz zwischen den Temperaturhuben von WP1 und WP2 liegt im Mittel bei rund -1,05 K (WP1 minus WP2), wobei WP1 überwiegend den niedrigeren Hub fährt [Q4]. In rund 13 % der Messpunkte übersteigt dieser Unterschied 2 K [Q4]. Dieses Muster spricht für eine gestaffelte Anfahrfolge (Lead-Lag), bei der ein Gerät bevorzugt zugeschaltet wird, statt für eine Betriebsweise mit gleichmäßiger Lastaufteilung zwischen beiden Einheiten. Ob diese Asymmetrie beabsichtigt ist (z. B. zur Reduktion von Schaltzyklen) oder eine unentdeckte Regelungenauigkeit widerspiegelt, lässt sich aus den Temperaturdaten allein nicht klären; die Konsequenz für die weitere Planung wird in Abschnitt 5 behandelt.

WP1/WP2: Hinweis auf gestaffelten Lead-Lag-Betrieb statt paralleler Synchronisation

(a) WP1- und WP2-Temperaturspreizung im Tagesverlauf



(b) Verteilung der Lastasymmetrie zwischen WP1 und WP2 (n=1,248, 15.1% > 2K)



WP2 zeigt über weite Strecken einen höheren Temperaturhub als WP1 – ein systematischer Versatz von im Mittel rund 1 K statt eines synchronen Parallelbetriebs.

Panel (a) zeigt den täglichen Temperaturhub ΔT (Vorlauf minus Rücklauf, in Kelvin) von WP1 (rot) und WP2 (blau) über den ~6-Monats-Zeitraum 01.01. bis 01.07.2026; ab Anfang Juni brechen beide Kurven gemeinsam auf negative Werte ein, was dem saisonalen Übergang in den Stillstand ohne Heizbetrieb entspricht.

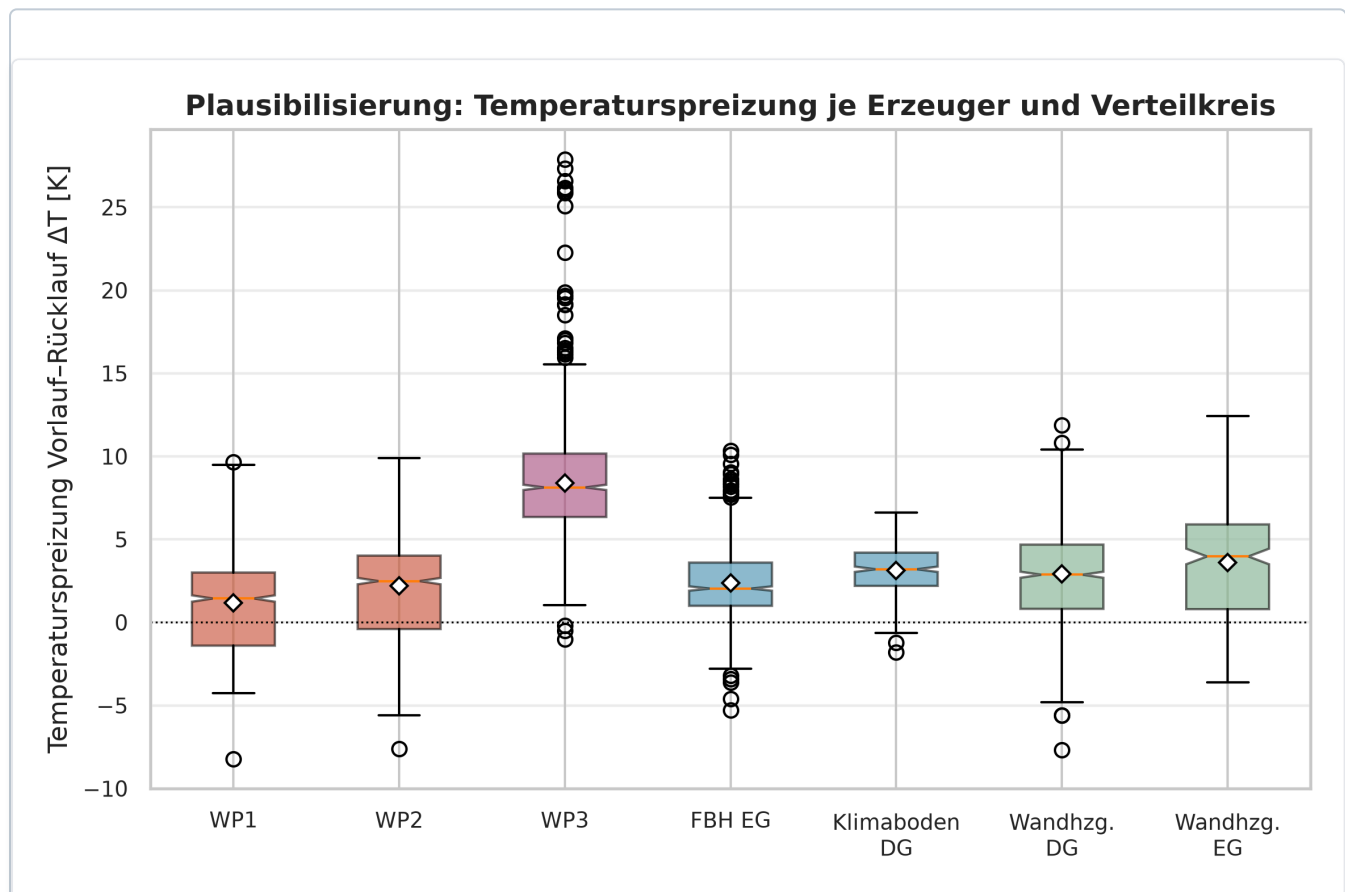
Panel (b) zeigt die Verteilung der Differenz ΔT_{WP1} minus ΔT_{WP2} über alle Messpunkte des Zeitraums: Der Peak liegt sichtbar links vom Nullpunkt (gestrichelte Linie), WP1 fährt also überwiegend den niedrigeren Hub – konsistent mit dem beschriebenen Lead-Lag-Muster [Q4].

Unabhängig von diesem Lead-Lag-Verhalten arbeitet die wetterkompensierte Heizkurve von WP1/WP2 selbst unauffällig: Die Regelabweichungen streuen ohne erkennbaren saisonalen Drift um den Nullpunkt, mit Ausnahme zweier Ausreißer im Mai, die auf einen möglichen Sensorfehler statt auf ein systematisches Regelproblem hindeuten [Q4]. Die zugrundeliegenden Fit-Parameter

(Steigung, Achsenabschnitt) stammen bislang nur aus der Streuung der Rohdaten, nicht aus einer belastbaren Regression, und wären vor einer Kurvenneuparametrierung neu zu berechnen.

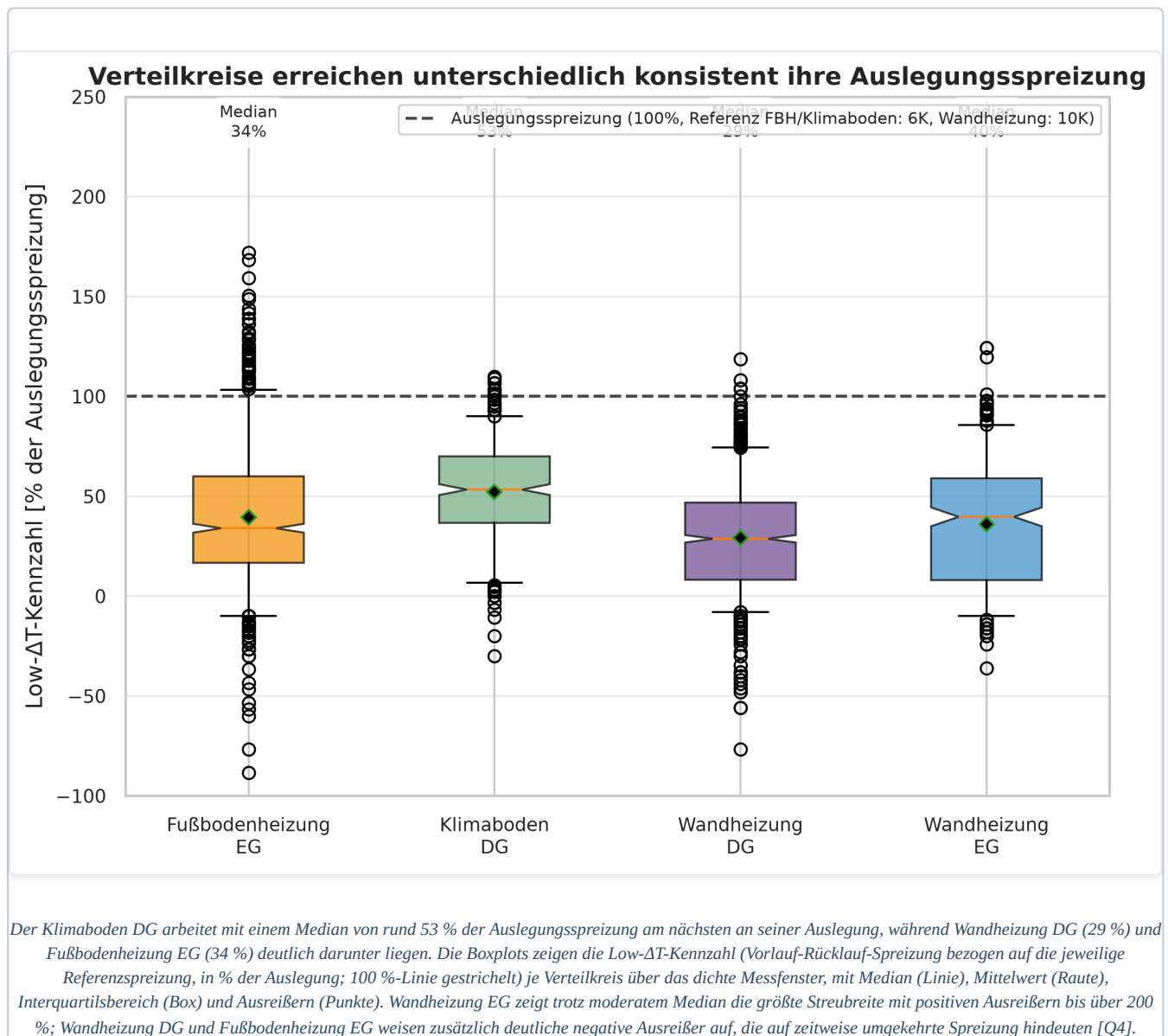
Verteilkreise: Klimaboden DG nahe der Auslegung, Wandheizung DG und Fußbodenheizung EG deutlich darunter

Die Temperaturspreizung streut zwischen den drei Wärmepumpen deutlich stärker als zwischen den vier Verteilkreisen: WP3 weist die größte Streubreite mit Ausreißern bis über 27 K auf – konsistent mit dem oben beschriebenen höheren Temperaturniveau –, während die vier Verteilkreise (Fußbodenheizung EG, Klimaboden DG, Wandheizung DG, Wandheizung EG) mit Medianwerten zwischen rund 2 und 4 K in ähnlicher Größenordnung liegen [Q4].



Die Temperaturspreizung streut zwischen den drei Wärmepumpen deutlich stärker als zwischen den vier Verteilkreisen. Der Boxplot zeigt die Momentanwerte der Temperaturspreizung ΔT (Vorlauf minus Rücklauf, in Kelvin) je Erzeuger (WP1, WP2, WP3) und Verteilkreis (Fußbodenheizung EG, Klimaboden DG, Wandheizung DG, Wandheizung EG) über das dichte Messfenster; der Strich markiert den Median, die Raute den Mittelwert, Whisker und Einzelpunkte zeigen die Streuung bzw. Ausreißer. WP3 weist die größte Streubreite mit Ausreißern bis über 27 K auf – konsistent mit dem oben beschriebenen höheren Temperaturniveau –, während die vier Verteilkreise mit Medianwerten zwischen rund 2 und 4 K in ähnlicher Größenordnung liegen [Q4].

Bezogen auf die jeweilige Auslegungsspreizung zeigt sich zwischen den vier Kreisen jedoch eine deutliche Qualitätsdifferenz: Der Klimaboden DG erreicht mit im Median rund 53,30 % der Auslegungsspreizung (Streubereich etwa 37–70 %) die konsistenteste und der Auslegung am nächsten kommende Betriebsweise [Q4]. Die Wandheizung DG liegt mit im Median rund 28,70 % (Streubereich etwa 8–47 %) am niedrigsten und zeigt zudem negative Ausreißer bis -75 % gegenüber der Auslegungsspreizung [Q4]. Die Fußbodenheizung EG bewegt sich mit rund 34,20 % (Streubereich etwa 17–60 %) in ähnlicher Größenordnung, während die Wandheizung EG mit rund 39,80 % im Median die größte Schwankungsbreite aller vier Kreise zeigt – bis hin zu Ausreißern von etwa 210 % der Auslegungsspreizung [Q4]. Diese Streuung deutet auf ungleichmäßige hydraulische Abstimmung der Verteilkreise hin: Während der Klimaboden DG stabil nahe seines Auslegungspunkts arbeitet, laufen Wandheizung DG und Fußbodenheizung EG überwiegend deutlich unter ihrer Spreizung und damit potenziell mit erhöhtem Volumenstrom oder reduzierter Übertragungseffizienz.

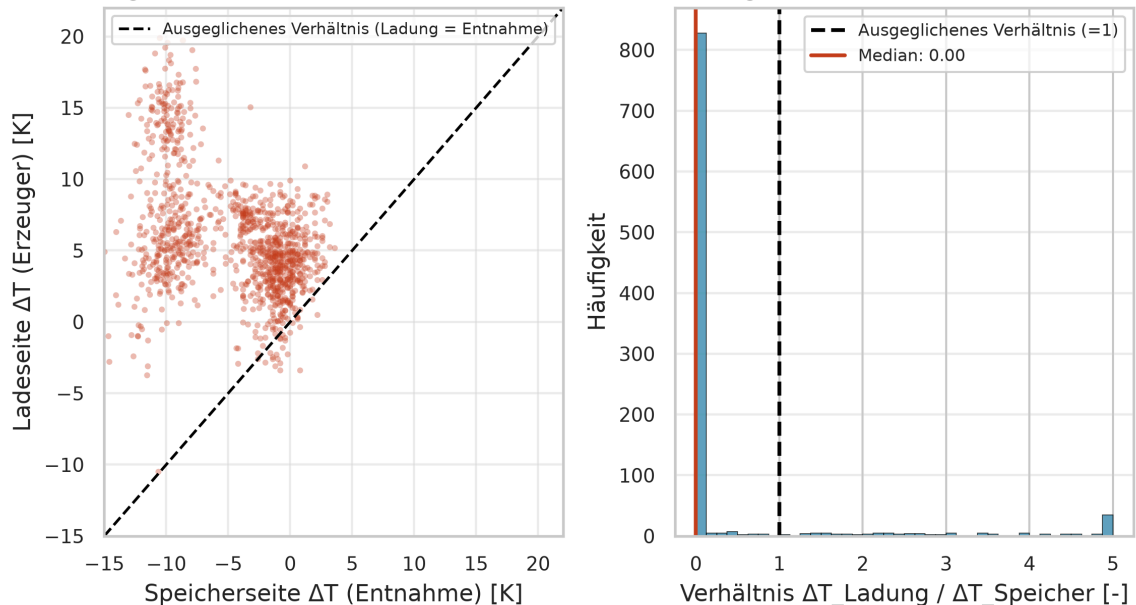


Pufferspeicher: häufige Durchmischung statt stabiler Schichtung

Die Temperaturdifferenz zwischen oberem und unterem Pufferfühler pendelt im Messfenster rasch zwischen etwa -2,5 K und +2 K; in rund 64,70 % der Messpunkte liegt sie unter 1 K, der Speicher befindet sich also überwiegend in einem gut durchmischten Zustand statt in stabiler Schichtung [Q4]. Parallel dazu zeigen die Lade- und Entnahmesignale von Pufferspeicher und Warmwasserspeicher rund 3,4 bis 3,6 diskrete Zyklen pro Tag über das gesamte Messfenster, ohne erkennbare saisonale Änderung der Taktfrequenz [Q4]. Der Vergleich von Lade- und Entnahmeseite bestätigt dieses Bild: Der Temperaturhub auf der Erzeugerseite (Ladung) liegt in der Mehrzahl der Messpunkte deutlich über dem der Verbraucherseite (Entnahme), mit einer kleineren Gruppe von Ausreißern am oberen Ende [Q4]. Erzeuger-Ladestrom und Verbraucher-Entnahme sind damit häufiger fehlangepasst als im Gleichgewicht – ein Hinweis auf suboptimale Ladehydraulik, der die häufige Durchmischung des Puffers zusätzlich erklärt. Der Speicher arbeitet folglich als häufig durchmischter Kurzzeitpuffer, nicht als Schichtspeicher mit stabilem Temperaturprofil. Die zugrundeliegenden Werte stammen aus einer visuellen Plot-Auswertung, nicht aus einer berechneten Kennzahl, weshalb das genaue Ausmaß dieser Fehlanpassung vor einer belastbaren Bewertung neu berechnet werden sollte [Q4]; ob dieses Verhalten betriebsbedingt gewollt oder Ausdruck einer suboptimalen Ladehydraulik ist, wird in Abschnitt 5 vertieft.

Pufferspeicher: Erzeuger-Ladestrom und Verbraucher-Entnahme sind häufig fehlangepasst

(a) Erzeuger-Ladestrom vs. Verbraucher-Entnahme (b) Verteilung Lade-/Entnahme-Verhältnis (n=977)



Erzeuger-Ladestrom und Verbraucher-Entnahme sind in der Mehrzahl der Messpunkte fehlangepasst: Die Ladeseite des Puffers zeigt meist einen deutlich höheren Temperaturhub als die Entnahmeseite. Panel (a) stellt den Temperaturhub der Entnahmeseite (x-Achse, K) gegen den der Ladeseite (y-Achse, K) für alle Messpunkte im 3-Stunden-Raster gegenüber; die gestrichelte Diagonale markiert ein ausgeglichenes Verhältnis, die meisten Punkte liegen darüber. Panel (b) zeigt die Verteilung des Verhältnisses Lade- ΔT zu Entnahme- ΔT (auf den Bereich 0–5 begrenzt): Die Masse der Werte konzentriert sich nahe null, deutlich unterhalb der Referenzlinie bei 1,0, mit einer kleineren Häufung am oberen Rand der Darstellung [Q4].

Solarertrag und Ölkessel folgen erkennbar der Witterung

Die Kollektor-Übertemperatur gegenüber der Außenluft wächst über das Messfenster saisonal deutlich an – von einem Monatsmaximum von rund 18 K im Dezember auf rund 88 K im Juni – und bestätigt damit den erwarteten Jahresgang des solaren Ertragspotenzials bereits im vorliegenden Winter-bis-Frühsommer-Ausschnitt [Q4]. Zwischen den beiden Kollektorreihen besteht zudem eine durchgehende Temperaturasymmetrie von im Mittel rund 6,61 K, ein Hinweis auf ungleiche Durchströmung der beiden parallelen Kollektorstränge [Q4]; die fachliche Einordnung dieses Befunds folgt in Abschnitt 5.

Der Ölkessel ist an rund 24,60 % der Tage im Messfenster aktiv feuernd, mit einem klar erkennbaren, wenn auch nicht engen Zusammenhang zur Außentemperatur (Korrelationskoeffizient rund 0,55 dimensionslos (Pearson r)) – die Aktivität sinkt gemeinsam mit dem Heizwärmebedarf gegen Ende Juni gegen null [Q4]. Die Ansteuerung wechselt dabei tageweise abrupt zwischen inaktiv und 50–75 % Tagesanteil, was eher für eine schwellwertbasierte Zuschaltung als für eine fein modulierte

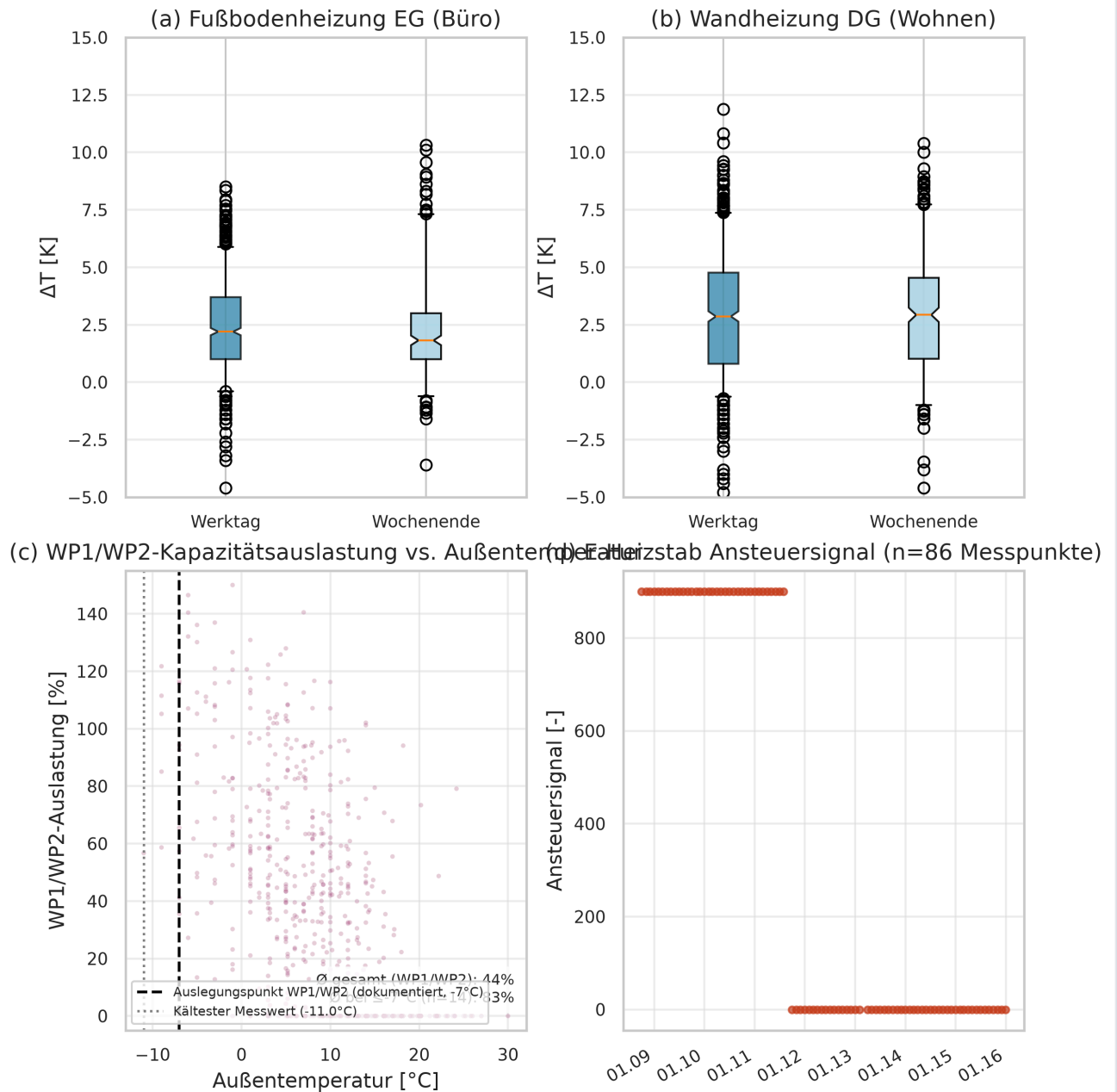
Mitregelung spricht [Q4]. Der zugehörige Brennerstundenzähler zeigt dabei durchgehend 0,0 h trotz der gemessenen Aktivitätstage – ein weiterer defekter Zähler analog zu den in Abschnitt 2 beschriebenen Problemen. Ob und in welchem Umfang dieser Backup-Betrieb dauerhaft erforderlich ist, wird im Zusammenhang mit der Jahreshochrechnung in Abschnitt 4 und den Handlungsempfehlungen in Abschnitt 5 bewertet.

Nennlastverhalten, Nutzungsprofil Büro und Heizstab-Aktivität

Das Messfenster erreicht mit -11 °C eine tiefere Außentemperatur als der Auslegungspunkt von WP1/WP2 (-7 °C bei 10,9 kW Heizleistung je Einheit) [Q4]. Bei Außentemperaturen von -7 °C oder kälter liegt die Systemauslastung im Schätzwert bei rund 85 %, gegenüber einem Gesamtmittel von rund 44 % über das gesamte Messfenster [Q4]. Die Anlage nähert sich an Kälteextremen also der Nennleistung an, erreicht sie aber selbst am kältesten gemessenen Tag nicht vollständig – ein Befund, der für die Bewertung der Backup-Auslegung des Ölkessels relevant ist. Auch dieser Vergleichswert basiert auf einer visuellen Auswertung und ist entsprechend vorsichtig zu interpretieren [Q4].

Der bürogenutzte Kreis Fußbodenheizung EG zeigt an Werktagen einen um rund 21 % höheren Temperaturhub als am Wochenende (2,20 K gegenüber 1,82 K), während der privat genutzte Kreis Wandheizung DG praktisch keinen Unterschied zwischen Werktag und Wochenende aufweist (2,86 K gegenüber 2,93 K) [Q4]. Dieses Muster ist konsistent mit einer nutzungsabhängigen Regelung des Bürobereichs bei ganzjährig gleichbleibendem Betrieb des privaten Wohnbereichs, wobei die Überlappung der Wertebereiche beider Kreise die Musterstärke relativiert. Das Ansteuersignal des elektrischen 6-kW-Heizstabs zeigt messbare, nicht durchgehend null liegende Aktivität und widerlegt damit den in Abschnitt 2 dokumentierten Verdacht eines dauerhaft inaktiven Kanals [Q4]. Eine belastbare Bezifferung des tatsächlichen Einschaltanteils ist mit der vorliegenden Auswertung jedoch nicht möglich, da zwei unterschiedliche Auswertungsmethoden widersprüchliche Größenordnungen liefern; der tatsächliche Betriebsanteil des Heizstabs bleibt bis zu einer Neuberechnung offen [Q4].

Nutzungsmuster Büro/Wohnen und WP1/WP2-Anlagengrenzen bei Kälteextremen



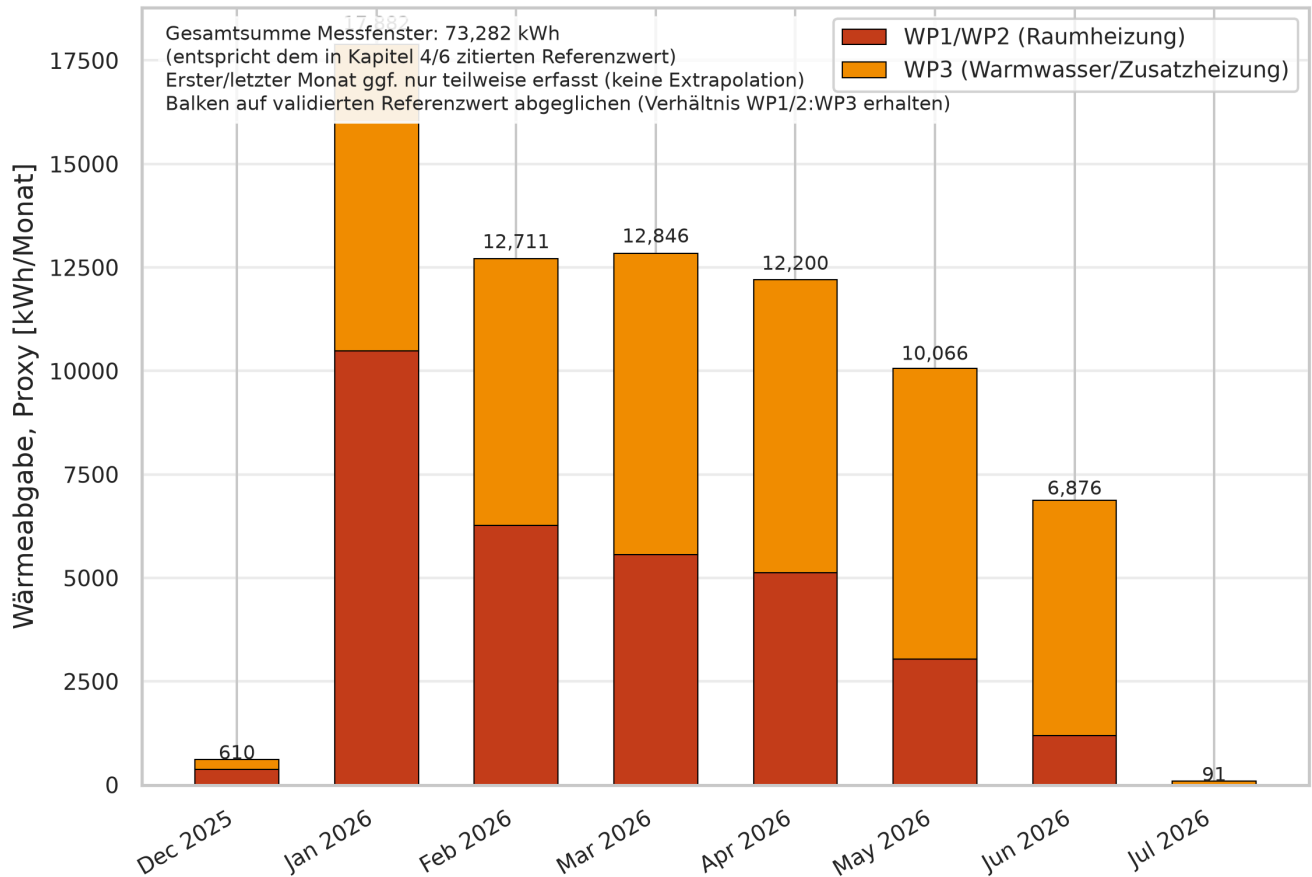
Der Bürokreis Fußbodenheizung EG zeigt einen erkennbar höheren Werktags-Temperaturhub als am Wochenende, während der private Wohnkreis Wandheizung DG praktisch keinen Unterschied zeigt; die WP1/WP2-Auslastung nähert sich bei Außentemperaturen nahe dem Auslegungspunkt der Nennleistung an, ohne sie durchgehend zu erreichen; und das Ansteuersignal des Heizstabs zeigt einen blockartigen Wechsel zwischen zwei Betriebszuständen statt sporadischer Einzelschaltungen. Panel (a) und (b) zeigen den Temperaturhub ΔT (K) als Boxplot für Werktag versus Wochenende in den Kreisen Fußbodenheizung EG bzw. Wandheizung DG. Panel (c) zeigt die geschätzte WP1/WP2-Systemauslastung (in % der Nennleistung, y-Achse) gegen die Außentemperatur (x-Achse, °C), mit dem Auslegungspunkt bei -7 °C und dem kältesten Messwert bei -11 °C als Referenzlinien. Panel (d) zeigt das rohe Ansteuersignal des elektrischen Heizstabs über die Zeit, mit einem abrupten Übergang von durchgehend hoher zu durchgehend niedriger Aktivität Anfang Dezember [Q4].

4. Gesamtlasten und Jahresbilanz: Wärmeabgabe von rund 73.282 kWh im Messfenster, hochgerechnet auf rund 128.389 kWh/a

| Wärmeabgabe im Messfenster

Über das knapp sechsmonatige Messfenster (2025-12-31..2026-07-01) summiert sich die aus Vor-/Rücklauftemperatur und Nenn-Volumenstrom abgeleitete Wärmeabgabe von WP1, WP2 und WP3 auf rund 73.282 kWh [Q4]. Dieser Wert ist eine Proxy-Rechnung, keine direkte Zählermessung (siehe Abschnitt 2); die kumulativen Wärmemengenzähler an den drei Wärmepumpen liefern über den gesamten 22-Jahres-Datenbestand nur 3 bis 9 verwertbare Werte und scheiden für eine belastbare Summenbildung aus [Q4]. Die Aufteilung dieser Gesamtmenge zwischen dem saisonal schwankenden WP1/2-Betrieb und dem ganzjährig konstanten WP3-Betrieb ist in Abschnitt 3 dargestellt und wird hier nicht erneut hergeleitet.

(a) Monatsbilanz der Wärmepumpen-Wärmeabgabe im Messfenster
(reale Tagessummen nach CALC041/042/043, keine Hochrechnung)

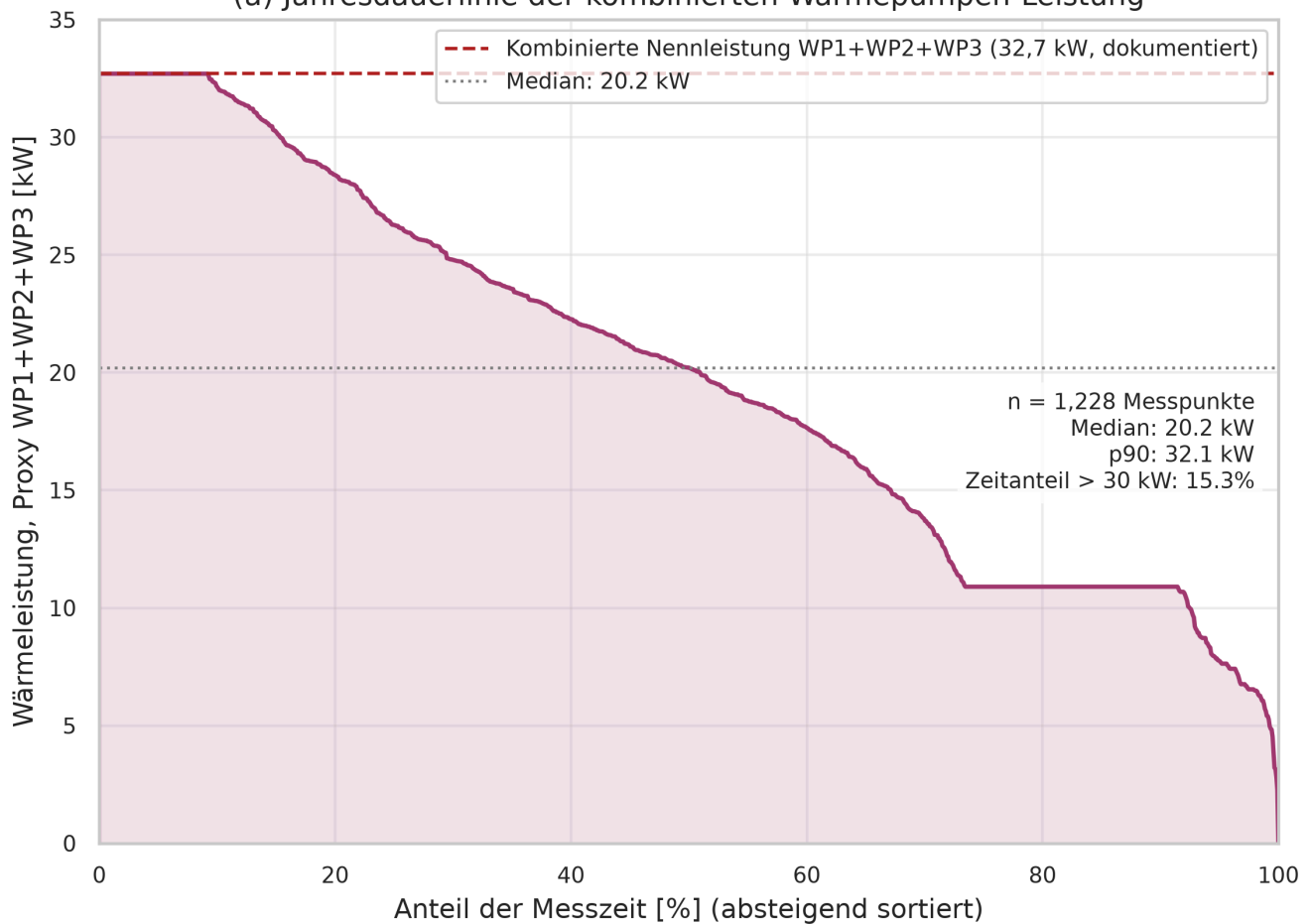


Die Wärmeabgabe konzentriert sich auf die Wintermonate: Januar liefert mit rund 17.900 kWh den höchsten, Juli mit rund 90 kWh den niedrigsten Monatswert. Das gestapelte Balkendiagramm zeigt die monatliche Wärmeabgabe [kWh] von WP1/WP2 (rot, Raumheizung) und WP3 (orange, Warmwasser/Zusatzheizung) für die acht im Messfenster erfassten Kalendermonate Dezember 2025 bis Juli 2026; in Summe ergeben die Balken den oben genannten Gesamtwert von rund 73.282 kWh. Die Randmonate Dezember und Juli sind durch Beginn bzw. Ende des Messfensters nur teilweise erfasst (siehe Abschnitt 2) und entsprechend deutlich niedriger als die Vollmonate dazwischen. Der von Winter zu Sommer wachsende Orange-Anteil bildet den in Abschnitt 3 beschriebenen, mit sinkender Heizlast steigenden WP3-Anteil ab [Q4].

Lastdauerlinie und Wochenmuster

Die kombinierte Leistung der drei Wärmepumpen liegt die halbe Messzeit unter rund 20 kW und nähert sich nur in den oberen rund 10 % der Zeit der dokumentierten Nennleistungssumme von rund 33 kW an [Q4]. Dieses Bild ergänzt den in Abschnitt 3 beschriebenen Zweizustands-Betrieb um die Information, dass die Anlage über die gesamte Messzeit betrachtet weit überwiegend im Teillastbereich arbeitet, mit einem erkennbaren Grundlastplateau um 11 kW – zwischen rund 73 und 90 % der Zeit bildet die Lastdauerlinie ein Plateau bei diesem Wert, vermutlich die ganzjährig laufende Warmwasserbereitung durch WP3.

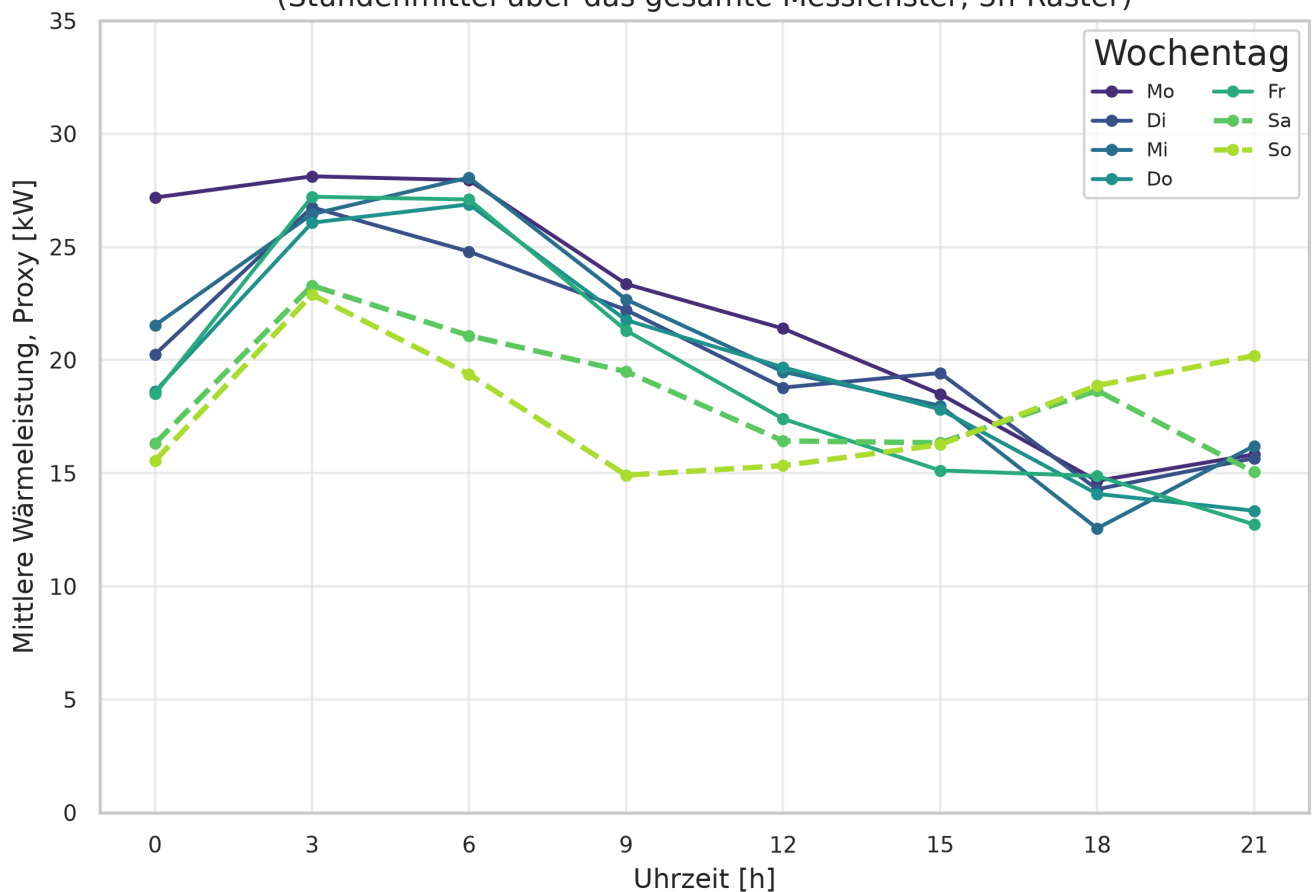
(a) Jahresdauerlinie der kombinierten Wärmepumpen-Leistung



Nur in den obersten rund 10 % der Messzeit nähert sich die kombinierte Wärmeleistung von WP1+WP2+WP3 der Nennleistungssumme von rund 33 kW an, der Median liegt bei rund 20 kW. Dargestellt ist die absteigend sortierte Proxy-Wärmeleistung [kW] aller drei Wärmepumpen über den Anteil der Messzeit [%] im dichten 3-Stunden-Raster des gesamten Messfensters; die gestrichelte Linie markiert die dokumentierte Nennleistungssumme (WP1+WP2 ≤ 21,8 kW plus WP3 ≤ 10,9 kW). Zwischen rund 73 und 90 % der Zeit bildet die Kurve ein Plateau bei rund 11 kW – ein Hinweis auf einen weitgehend konstanten Grundlastbetrieb, vermutlich die ganzjährig laufende Warmwasserbereitung durch WP3 (vgl. Abschnitt 3) [Q4].

Im Wochenverlauf liegt die mittlere Gesamtleistung an Werktagen vormittags spürbar höher als am Wochenende – ein Muster, das mit der in Abschnitt 3 belegten nutzungsabhängigen Regelung des Bürokreises Fußbodenheizung EG konsistent ist, hier jedoch das gesamte System statt eines einzelnen Verteilkreises betrifft [Q4].

(a) Typisches Wochenprofil der Wärmepumpen-Gesamtleistung
(Stundenmittel über das gesamte Messfenster, 3h-Raster)



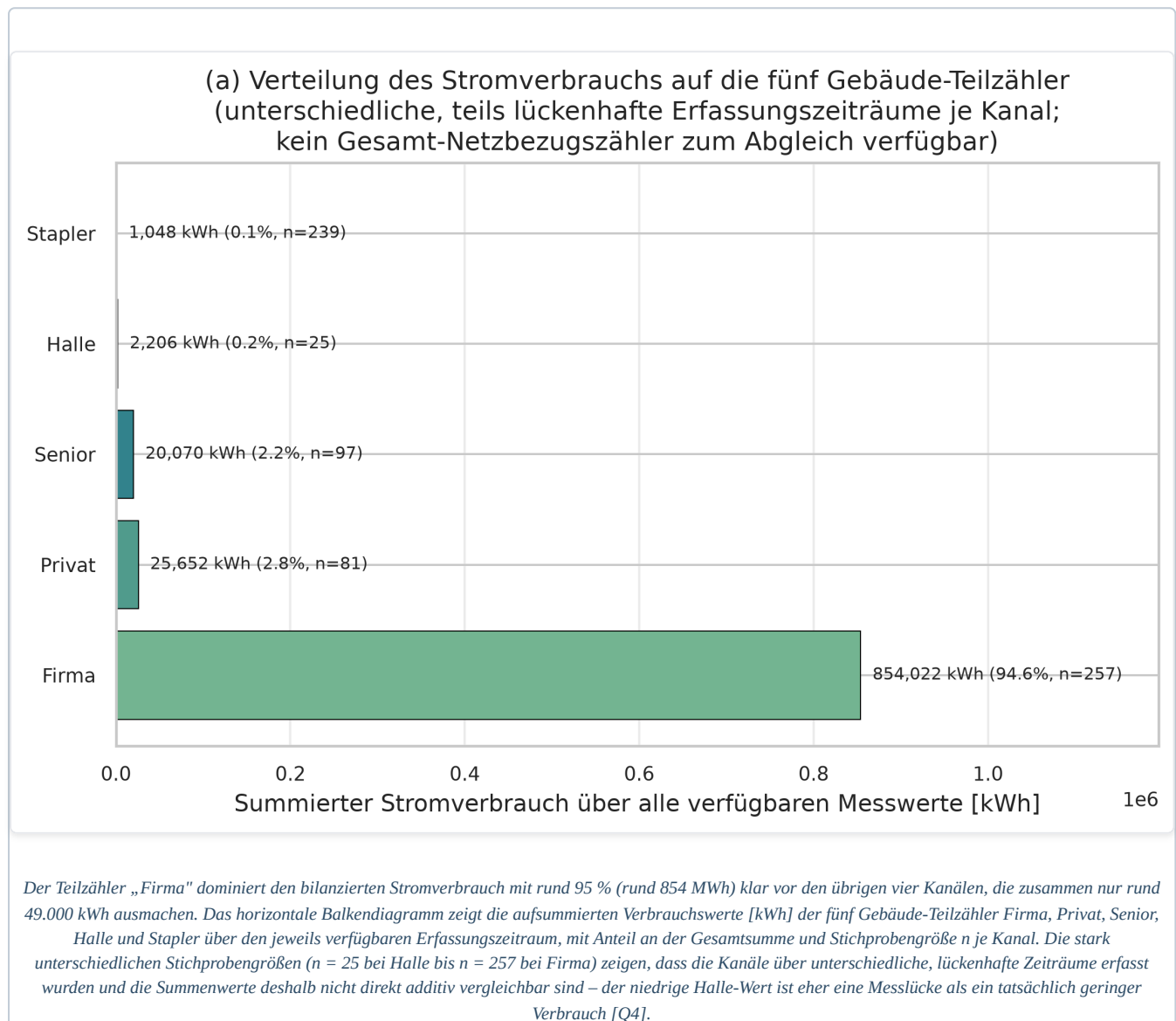
An allen Wochentagen erreicht die Gesamtleistung ihr Maximum in den frühen Morgenstunden (3–6 Uhr, bis rund 28 kW); Samstag und Sonntag liegen durchgehend niedriger als die Werktage. Die Grafik zeigt die über das gesamte Messfenster gemittelten Stundenwerte der kombinierten Wärmeleistung [kW] von WP1+WP2+WP3 im 3-Stunden-Raster, aufgeschlüsselt nach Wochentag (durchgezogene Linien Mo–Fr, gestrichelt und dicker Sa/So). Im Vormittagsbereich (6–12 Uhr) liegt die Werktaglast mit rund 19–28 kW deutlich über der Wochenendlast von rund 15–21 kW – konsistent mit reduziertem Bürobetrieb am Wochenende [Q4].

Solarthermie, Ölkessel und Stromseite bleiben ohne belastbare Energiebilanz

Der Beitrag von Solarthermie und Ölkessel zur Gesamtwärmeversorgung lässt sich mit der vorliegenden Datenlage nicht in kWh beziffern und geht deshalb nicht in die obige Summe ein: Der Solarertragskanal ist zu dünn besetzt, und der berechnete solare Deckungsanteil überschreitet den physikalisch möglichen Bereich (vgl. Abschnitt 2) [Q4]. Für den Ölkessel ist einzig der Aktivfeuerungs-Zeitanteil messbar – im Mittel an rund 24,60 % der Tage, wie in Abschnitt 3 dargestellt; eine Umrechnung in eine Wärmemenge würde eine nicht dokumentierte Annahme zur mittleren Kessellast erfordern und unterbleibt deshalb [Q4]. Die Summe von rund 73.282 kWh bildet

damit ausschließlich den Wärmepumpen-Anteil der Gesamtwärmeversorgung ab, nicht die vollständige Anlage.

Auf der Stromseite existieren fünf separate Teilzähler für Firma, Halle, Privat, Senior und Stapler, jedoch kein eindeutig identifizierter Gesamt-Netzbezugszähler, gegen den sich diese Teilsumme abgleichen ließe [Q4]. Der Teilzähler „Firma“ dominiert mit einem geschätzten Anteil von rund 95 % an der Summe der fünf Kanäle deutlich vor den übrigen vier Verbrauchergruppen; dieser Anteilswert beruht auf einer visuellen Auswertung, nicht auf einer berechneten Kennzahl [Q4].



Ungeklärt bleibt insbesondere, welchen Anteil die Wärmepumpen, die Umwälzpumpen des Ölkessels und die in Abschnitt 1 beschriebene Kälte-Splitanlage am Gesamtstrombezug haben – für die Kälteanlage existiert im Datenbestand kein einziger eigener Messkanal [Q4]. Eine Bilanzierung

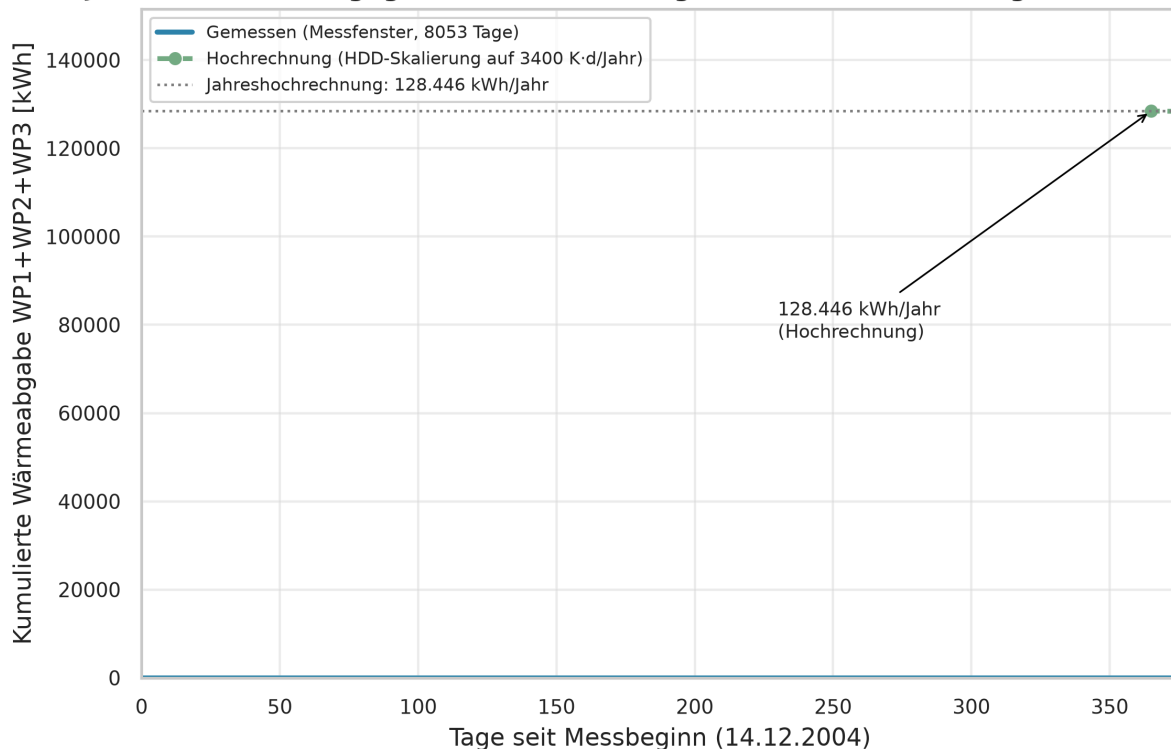
Netzbezug gegen Summe der Teilzähler, die diese Lücke quantifizieren würde, war aus der vorliegenden Datenlage nicht erstellbar [Q4].

Jahreshochrechnung: Heizgradtag-Verfahren auf rund 128.389 kWh/a

Hochgerechnet über das Heizgradtag-Verfahren liefert der oben ermittelte Wärmepumpen-Output eine Jahresgrößenordnung von rund 128.389 kWh/a [Q4]. Diese Zahl ist eine Projektion, keine Messung: Das Messfenster deckt Ende Dezember 2025 bis Anfang Juli 2026 ab und lässt die Monate Juli bis November unvermessen; zwei unabhängige Versuche, die Hochrechnung gegen reale kumulative Wärmemengenzähler zu validieren, sind zudem gescheitert (siehe unten) [Q4].

Das Messfenster umfasst rund 1.940,70 Kd (HDD) Heizgradtage [Q4] – überwiegend Wintermonate mit hohem Heizwärmebedarf, ergänzt um den Übergang in den Frühsommer. Die Hochrechnung setzt den gemessenen Proxy-Wärmeoutput ins Verhältnis zu diesen Heizgradtagen (spezifische Intensität rund 37,76 kWh/HDD) und skaliert ihn auf die für den Standort angenommenen Heizgradtage eines vollen Jahres [Q4]. Das Verfahren unterstellt damit zweierlei: dass sich der Witterungsverlauf der übrigen, unvermessenen Monate an einem klimatologisch typischen Jahr orientiert, und dass sich der gesamte Wärmeoutput – wie in Abschnitt 3 für WP1/WP2 bestätigt – proportional zur Außentemperatur verhält. Für den saisonal stark schwankenden Raumheizungsanteil trägt diese Annahme; für den ganzjährig nahezu konstanten Warmwasseranteil ist sie nur bedingt zutreffend, wie der folgende Abschnitt zeigt.

(a) Jahreshochrechnung: gemessene Wärmeabgabe und HDD-Skalierung auf ein volles Jahr



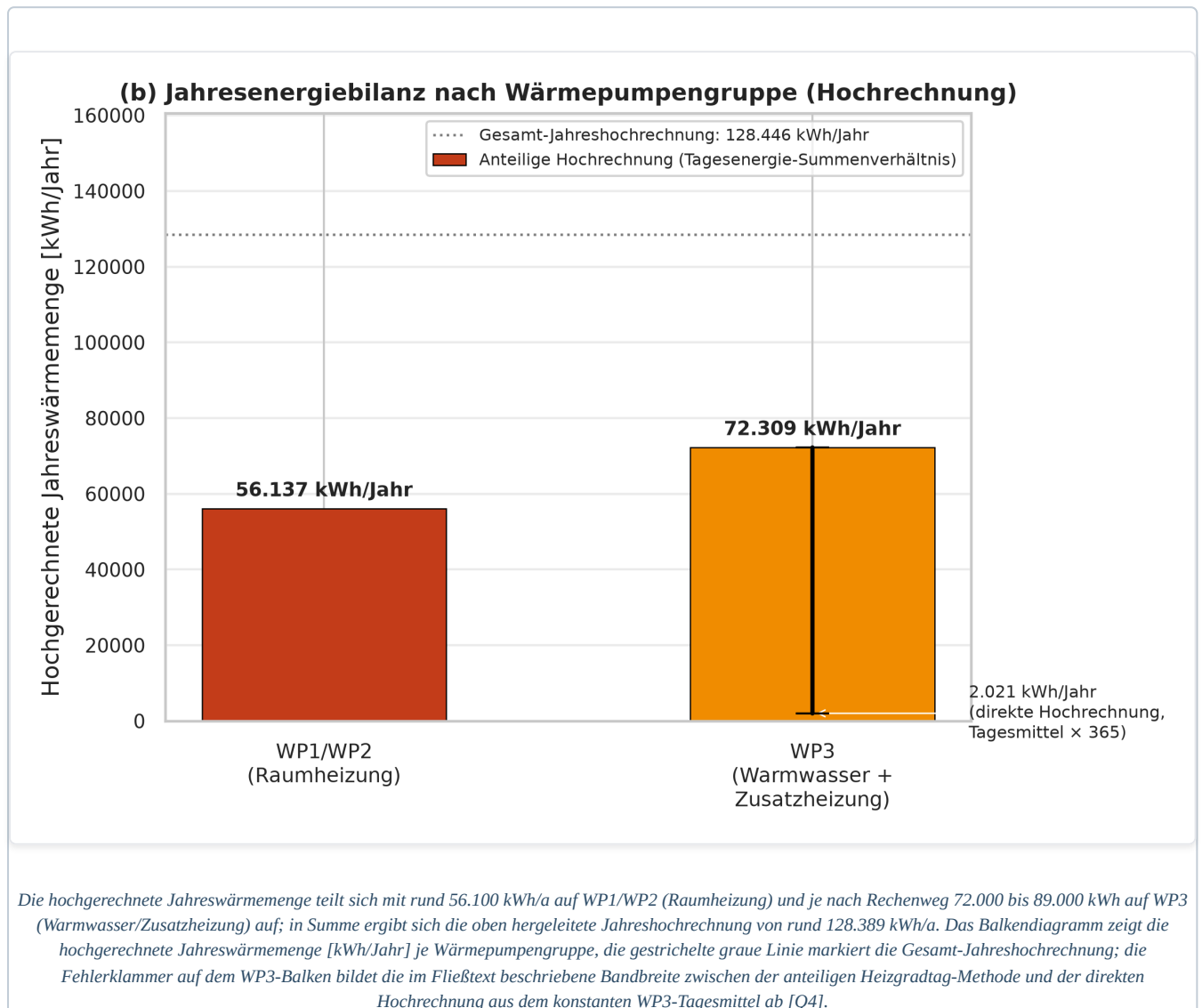
Die kumulierte Wärmeabgabe von WP1+WP2+WP3 geht am Ende des dichten Messfensters von der durchgezogenen, gemessenen Linie in eine gestrichelte Heizgradtag-Projektion über, die bei der oben hergeleiteten Jahreshochrechnung von rund 128.389 kWh/a endet (graue gepunktete Referenzlinie). Dargestellt ist die kumulierte Proxy-Wärmemenge [kWh] auf der y-Achse gegen die seit Beginn der technischen Datenerfassung vergangenen Tage auf der x-Achse; der Wechsel von durchgezogener zu gestrichelter Linie und die Referenzlinie markieren den Übergang von der realen Messreihe zur in diesem Abschnitt hergeleiteten Jahresprojektion nach dem Heizgradtag-Verfahren [Q4].

WP1/WP2 folgen dem Heizgradtag-Modell gut, für WP3 ergibt sich eine Bandbreite von 72.000 bis 89.000 kWh/Jahr

Für WP1/WP2 (Raumheizung) ist die Heizgradtag-Skalierung sachgerecht, da ihr Betrieb – in Abschnitt 3 bestätigt – der Außentemperatur klar folgt: Der anteilige Jahreswert liegt bei rund 56.100 kWh/a [Q4], abgeleitet aus dem in Abschnitt 3 dokumentierten Tagesenergie-Anteilsverhältnis von WP1/2 zu WP3 (rund 44 % zu 56 %) auf den Gesamtwert angewendet.

Für WP3 (Warmwasser/Zusatzheizung) liefern zwei unterschiedliche Rechenwege spürbar abweichende Jahreswerte. Die anteilige Übertragung desselben Heizgradtag-Verhältnisses ergibt rund 72.000 kWh/Jahr; die direkte Hochrechnung aus dem in Abschnitt 3 beschriebenen, ganzjährig

stabilen Tagesmittel von rund 200–265 kWh/Tag (Mittelwert ca. 243 kWh/Tag) auf 365 Tage ergibt dagegen rund 89.000 kWh/Jahr [Q4]. Diese Differenz ist plausibel: WP3 folgt kaum der Witterung, sondern primär dem Warmwasserbedarf, weshalb eine witterungsbasierte Hochrechnung ihren nahezu konstanten Betrieb nicht korrekt abbildet. Für den WP3-Jahresanteil ist daher die Bandbreite 72.000 bis 89.000 kWh/Jahr die ehrlichere Angabe als ein einzelner Punktwert [Q4].



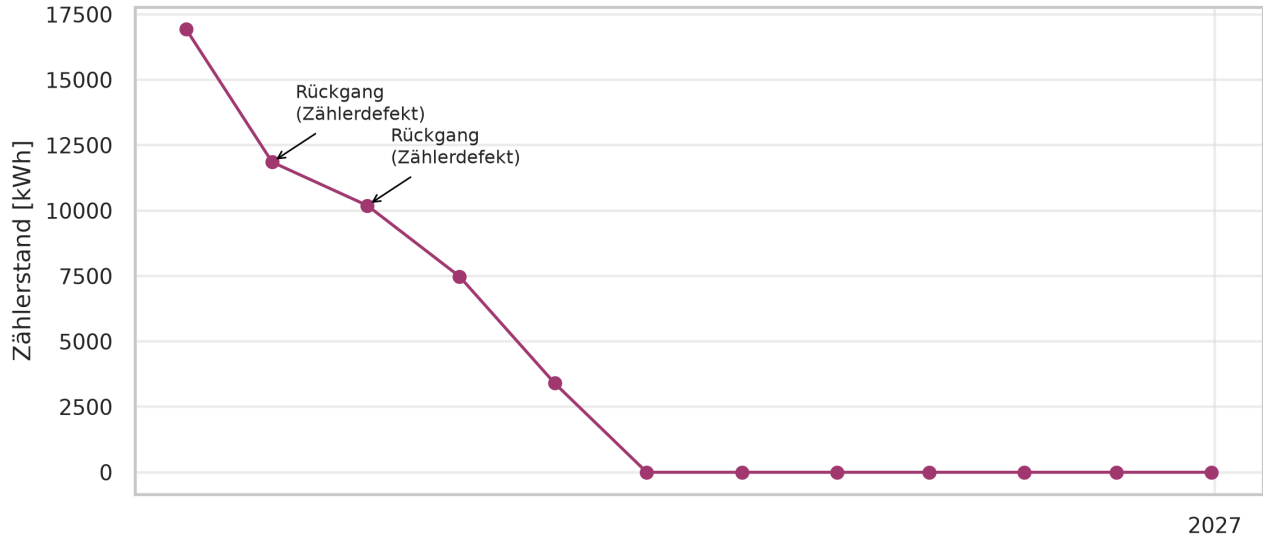
Wie oben begründet, lässt der Datenbestand für Solarthermie und Ölkessel keine belastbare Jahresenergiemenge zu; diese Einschränkung gilt unverändert auch für die Jahreshochrechnung, und beide Erzeuger fließen nicht in die obigen 128.389 kWh/a ein.

Zwei Kreuzvalidierungsversuche gegen reale Zähler sind gescheitert

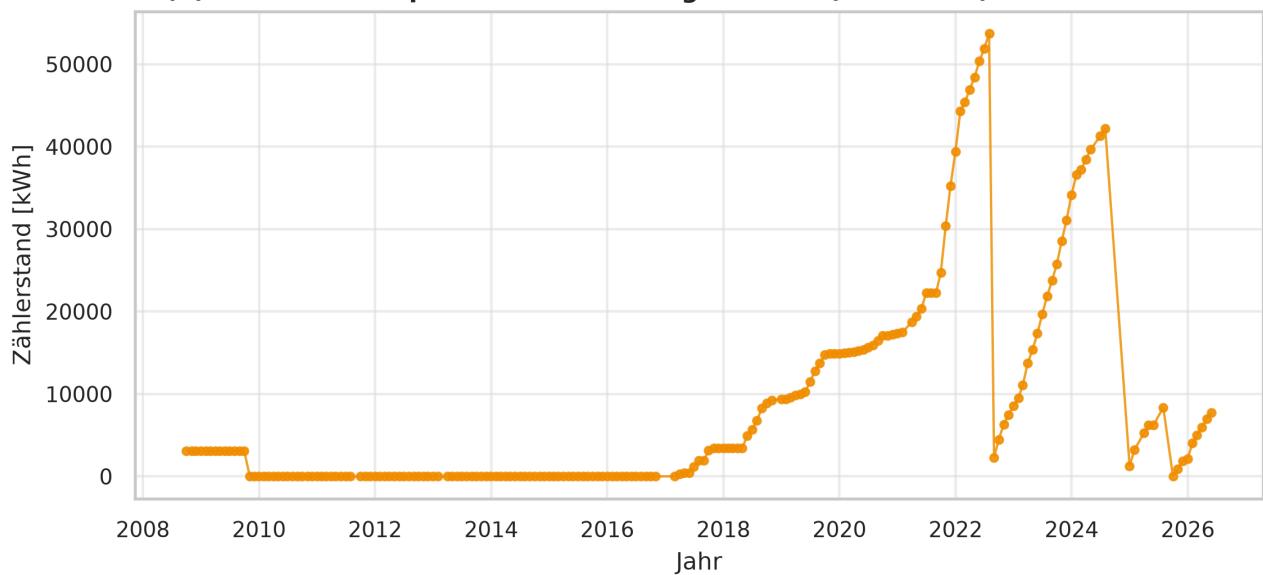
Die 128.389 kWh/a-Hochrechnung stützt sich vollständig auf die Proxy-Rechnung, da die tatsächlichen Wärmemengenzähler an WP1-3 über den gesamten 22-Jahres-Datenbestand nur 3 bis 9 verwertbare Werte liefern [Q4]. Ein Abgleich gegen den kumulativen Wärmemengenzähler des Pufferspeichers ist gescheitert, da dieser für das zweite Halbjahr 2026 durchgehend bei null liegt und zudem nicht monoton verläuft – ein Zählerdefekt, der keine Aussage über die Genauigkeit der Hochrechnung erlaubt [Q4]. Ein zweiter Abgleich anhand der begrenzt verfügbaren Warmwasserzähler zeigt für den WP3-Proxy Werte, die drei- bis fünfmal höher liegen als die Zählerablesungen – deren Zeitreihe selbst jedoch ebenfalls nicht monoton ist und daher als Referenz nicht belastbar [Q4].

Kreuzvalidierungs-Grundlage: reale Wärmemengenzähler zeigen Zählerdefekte

(a) Pufferspeicher-Wärmemengenzähler (kumulativ) — nicht monoton



(b) Warmwasserspeicher-Wärmemengenzähler (kumulativ) — nicht monoton



Panel (a) zeigt den kumulativen Wärmemengenzähler des Pufferspeichers, der über den Datenbestand mehrfach abfällt statt zu steigen und über weite Strecken der jüngeren Zeitreihe bei null verharrt – ein klarer Zählerdefekt. Panel (b) zeigt den kumulativen Wärmemengenzähler des Warmwasserspeichers mit wiederholten sägezahnartigen Einbrüchen um mehrere Zehntausend kWh, ebenfalls nicht plausibel für einen kumulativen Zähler. Beide Panels stellen die kumulierte Zählerablesung [kWh] über den verfügbaren Kalenderzeitraum dar und veranschaulichen, warum diese Zähler als Referenz für die oben beschriebenen, gescheiterten Kreuzvalidierungsversuche ausscheiden [Q4].

Die rund 128.389 kWh/a sind damit als plausible Größenordnung zu verstehen, nicht als bestätigter Jahreswert. Die Instandsetzung der defekten Wärmemengenzähler (Puffer- und Warmwasserbereich)

ist Voraussetzung für eine erneute, belastbare Kreuzvalidierung dieser Hochrechnung – dies wird in Abschnitt 5 als konkreter Prüfauftrag aufgegriffen.

DATENGRUNDLAGE: Messdaten (28 Hypothesen) · Berechnung (39 Formeln)

5. Hinweise für Fachplaner: Datenqualität und hydraulischer Abgleich vor Investitionsentscheidungen

Die Anlage zeigt zehn Auffälligkeiten, die von reiner Regelungsfeinabstimmung bis zu strukturellen Versorgungsentscheidungen reichen; für die weitere Planung haben zwei Themen Vorrang vor allen anderen – die Instandsetzung der defekten Zähler und die Nachrüstung fehlender Messstellen, da ohne sie keine der übrigen Empfehlungen wirtschaftlich belastbar bewertet werden kann [Q4]. Die folgenden Abschnitte ordnen jeden Befund aus Abschnitt 3 fachlich ein und benennen die Konsequenz für die weitere Planung; die zugrundeliegenden Messwerte werden nicht erneut hergeleitet, sondern referenziert.

Defekte Zähler und fehlende Messstellen sind Voraussetzung, nicht nachrangiger Punkt

Die belastbare Bewertung praktisch aller anderen Befunde dieses Berichts hängt an einer bislang unvollständigen Mess- und Abrechnungsinfrastruktur: Für die Kälte-Splitanlage im Garagenbereich existiert kein einziger Messkanal, ein zentraler Netzbezugszähler fehlt, und die Wärmemengenzähler an Pufferspeicher, Warmwasserspeicher sowie Ölkessel sind entweder zu dünn besetzt oder – wie die beiden gescheiterten Kreuzvalidierungsversuche der Jahreshochrechnung in Abschnitt 4 zeigen – nicht-monoton bzw. defekt [Q4]. Vor jeder weiteren Detailplanung an den unten diskutierten Kreisläufen empfiehlt sich daher die Nachrüstung von Zählern für Kälte-Split und Netzbezug sowie die Reparatur der defekten Wärmemengenzähler (Puffer, Warmwasser, Ölkessel-Brennerstunden); erst danach lässt sich die in Abschnitt 4 dokumentierte Jahreshochrechnung von rund 128.389 kWh/a gegen reale Messwerte verifizieren [Q4]. Fachlicher Rahmen für die Nachrüstung ist das IPMVP-Regelwerk zur Verifizierung von Energieeinsparungen [Q4]. Diese Empfehlung trägt Priorität HOCH und ist Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Abschnitt 6.

Hydraulischer Abgleich der vier Verteilkreise: Einregulierung empfohlen, Auffälligkeit bei Wandheizung DG vorrangig zu klären

Die in Abschnitt 3 dokumentierte Streuung der Low- ΔT -Indizes zwischen den vier Verteilkreisen – mit dem Klimaboden DG nahe seiner Auslegung und Wandheizung DG sowie Fußbodenheizung EG deutlich darunter – rechtfertigt einen hydraulischen Abgleich als vorrangige Maßnahme [Q4]. Priorität hat dabei die Klärung der negativen Ausreißer bei der Wandheizung DG, die auf eine mögliche Fehlzirkulation statt auf reine Unwucht hindeuten. Der übliche Normbezug für die Dimensionierung solcher Abgleicharbeiten (VDI 2073) ließ sich mit den vorliegenden Unterlagen nicht verifizieren und ist als Prüfauftrag an den ausführenden Fachplaner zu verstehen. Empfohlen wird eine ΔT -Kontrollmessung an allen vier Kreisen nach Einregulierung, unter Einbeziehung von HLK-Fachplanung und Regelungstechnik.

Pufferspeicher-Ladehydraulik: Neuberechnung vor jeder Investitionsentscheidung

Die in Abschnitt 3 beschriebene häufige Durchmischung des Pufferspeichers sowie die Fehlanpassung zwischen Lade- und Entnahmeseite deuten auf eine suboptimale Ladehydraulik hin – eine Aussage, die jedoch bislang nur auf einer visuellen Plot-Auswertung beruht und vor einer Investitionsentscheidung neu berechnet werden sollte [Q4]. Solange diese Neuberechnung (Mittelwert/Median statt Schätzung) nicht vorliegt, sprechen wir keine Empfehlung für einen konkreten Retrofit-Umfang aus; das Anschlusskonzept des Speichers (Diffusor, Anschlusshöhen) sollte gemeinsam mit HLK-Fachplanung und Speicherhersteller geprüft werden, sobald die belastbare Datenbasis steht.

WP1/WP2-Lastverteilung und WP3-Dominanz: Regelungsprüfung vor Hardware-Eingriff, Herstellerkennlinien erforderlich

Der in Abschnitt 3 dokumentierte Lead-Lag-Betrieb von WP1/WP2 sowie die dauerhaft hohe Auslastung von WP3 (100 % Median) bei gleichzeitig niedriger Auslastung von WP1/WP2 (0 % Median) begründen keinen Hardware-Eingriff, sondern zunächst eine Prüfung der Kaskadenlogik [Q4]. Eine belastbare Bewertung, ob die Anlage bewusst DHW-priorisierend ausgelegt wurde oder eine

Überdimensionierung von WP1/WP2 vorliegt, ist ohne die Herstellerkennlinien (COP in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur) nicht möglich – im Anlagenschema sind nur die Nennwerte am Auslegungspunkt (10,9 kW bei 55 °C/-7 °C) dokumentiert, keine Teillastkennlinie [Q1]. Wir empfehlen, diese Kennlinien beim WP-Hersteller anzufordern und gemeinsam mit der Regelungstechnik zu prüfen, ob der beobachtete Dispatch ein Verschleißrisiko für die dauerhaft nahe Volllast betriebene WP3 darstellt.

Wetterkompensierte Heizkurve: Feinabstimmung, kein Grundmangel

Die in Abschnitt 3 bestätigte funktionierende Wetterkompensation von WP1/WP2 – Regelabweichungen streuen ohne saisonalen Drift um den Nullpunkt – stellt keinen Grundmangel dar und rechtfertigt keine vorrangige Investition [Q4]. Die zwei im Mai aufgetretenen Regelausreißer sollten auf einen möglichen Sensorfehler geprüft werden, und die zugrundeliegenden Fit-Parameter (Steigung, Achsenabschnitt) sind vor einer Kurvenneuparametrierung neu zu berechnen, da sie bislang nur aus der Streuung, nicht aus einer belastbaren Regression stammen [Q4]. Diese Maßnahme ist reine Regelungsarbeit ohne Hardware-Bezug und entsprechend niedrig zu priorisieren.

Warmwasserbereitung WP3: Hygienetechnische Prüfung vor jeder Effizienzoptimierung

Die in Abschnitt 3 dokumentierte, mit 53,60 % Lastanteil und wachsendem Temperaturoffset dauerhaft hoch gefahrene WP3 legt eine Betriebsweise nahe der kontinuierlichen Hochtemperaturhaltung nahe – ein Betriebsprofil, das aus Effizienzgründen zur Diskussion steht, aber nicht ohne hygienetechnische Prüfung verändert werden darf [Q4]. Die in Abschnitt 3 erwähnte, nicht bestätigte Legionellen-Zyklus-Hypothese (nur 0,50 % der Tage der Tage mit ≥ 60 °C-Werten) beweist keine Abwesenheit einer Desinfektionsroutine, sondern zeigt lediglich, dass das gesuchte periodische Muster in den Daten nicht auffindbar war [Q4]. Bevor eine Umstellung auf ein bedarfsbasiertes Spülschema geprüft wird, ist das tatsächliche Spülprotokoll beim Betreiber anzufordern und gegen das DVGW-Regelwerk zur Trinkwassererwärmung sowie gegen DIN 16147 und die WHO-Trinkwasserleitlinien zu validieren [Q5]; ein ÖNORM-Äquivalent ist zu prüfen. Diese Prüfung ordnen wir mit mittlerer Priorität ein und empfehlen die Einbeziehung von Hygienetechnik, HLK-Fachplanung und Regelungstechnik.

Ölkessel-Backup: Weiterbetrieb als Redundanz vertretbar, Förderfähigkeit eines Rückbaus vor Entscheidung klären

Der Ölkessel (Vitoladens 300-T, 35 kW) feuert laut Abschnitt 3 an rund 24,60 % der Tage der Tage im Messfenster mit erkennbarer, wenn auch nicht enger Kopplung an die Außentemperatur (0,55 dimensionslos (Pearson r)) – ein Betrieb, der aus den vorliegenden Daten allein weder klar für noch gegen einen Weiterbetrieb spricht, da seine installierte Leistung annähernd der gesamten WP-Nennleistung entspricht und damit vollständige N+1-Redundanz mit laufenden Vorhaltekosten darstellt [Q4]. Die „Sanierungsoffensive 2026“ fördert einen Kesseltausch mit bis zu 30 % der Investitionskosten, gedeckelt auf 7.500 EUR (Luft-Wärmepumpe) bzw. 12.500 EUR (Erdwärme), bei einer Frist bis 31.12.2026 oder bis zur Budgeterschöpfung; ein Rückbauzwang für den Bestandskessel besteht nicht [Q7]. Unklar bleibt, ob ein reiner Backup-Rückbau – ohne Wechsel der Primärquelle, da die Wärmepumpen bereits seit 2025 primär versorgen – förderfähig ist; wir empfehlen, dies vor einer Entscheidung mit einer Fördermittelberatung anhand des aktuellen Förder-Merkblatts zu klären und die Klimarisiko-Redundanz gegen die laufenden Vorhaltekosten des Bestandskessels abzuwägen. Der in Abschnitt 3 festgestellte, widersprüchliche Brennerstundenzähler (0,0 h trotz 24,60 % der Tage Aktivitätstage) sollte unabhängig von dieser Entscheidung repariert werden, um den tatsächlichen Kesseleinsatz künftig korrekt zu erfassen [Q4].

Solarkollektor-Reihenasyymetrie: Niedrige Priorität, hydraulische Verschaltung prüfen

Die in Abschnitt 3 dokumentierte Temperaturasymmetrie zwischen den beiden Kollektorreihen (6,61 K Mittelwert) ist real, aber nachrangig zu behandeln: Der solare Deckungsanteil an der Gesamtwärmeversorgung ist über weite Strecken des Messfensters gering, sodass selbst eine vollständige Beseitigung der Asymmetrie das Gesamtbild der Anlage kaum verändern würde [Q4]. Ein belastbarer Literaturwert, der die zu erwartende Wirkung einer Strömungskorrektur für diese Kollektorkonfiguration beziffert, liegt nicht vor – dies ist als Erkenntnislücke zu benennen, nicht als übersehener Wert. Empfohlen wird eine Prüfung der hydraulischen Verschaltung (Tichelmann-Prinzip?) durch einen Solarthermie-Fachbetrieb, jedoch mit niedrigerer Priorität als die vorgenannten Punkte.

Nutzungsprofil-Regelung Büro versus Wohnen: bestehende Differenzierung formalisieren statt neu einführen

Der in Abschnitt 3 belegte, um rund ein Fünftel höhere Werktags-Temperaturhub im Bürokreis Fußbodenheizung EG gegenüber dem Wochenende zeigt, dass eine nutzungsabhängige Differenzierung im Bürobereich bereits informell stattfindet, während der private Wohnbereich naturgemäß keine vergleichbare Differenzierung zeigt [Q4]. Der übliche Referenzrahmen für eine formalisierte Sollwert-Rückstellung außerhalb der Nutzungszeiten ist ASHRAE 90.1-2019 [Q6]. Da die vorhandene Differenzierung bereits ansatzweise wirkt, ist der zusätzliche Hebel einer vollständigen Formalisierung eher inkrementell und niedrig zu priorisieren; sinnvoll ist sie im Zuge der ohnehin für die Wirtschaftlichkeitsbewertung in Abschnitt 6 empfohlenen kreisscharfen Wärmemengenzähler (siehe oben, Synergie mit der Mess-/Abrechnungsinfrastruktur).

PRIORITÄT	MASSNAHME	GEWERK
HOCH	Zähler-Instandsetzung & Nachrüstung (Kälte-Split, Netzbezug, Puffer/WW/Ölkessel)	Elektrotechnik, BMS-Integration
HOCH	Hydraulischer Abgleich vier Verteilkreise	HLK-Fachplanung
MITTEL	Regelungsprüfung WP1/2/3-Kaskadenlogik	Regelungstechnik, WP-Hersteller
MITTEL	Hygienetechnische Prüfung Warmwasserbetrieb WP3	Hygienetechnik, HLK-Fachplanung
MITTEL	Förderfähigkeitsklärung Ölkessel-Rückbau	Fördermittelberatung
NIEDRIG	Heizkurven-Feinabstimmung	Regelungstechnik
NIEDRIG	Nutzungsprofil-Formalisierung Büro	Regelungstechnik
NIEDRIG	Solarkollektor-Verschaltung prüfen	Solarthermie-Fachbetrieb

Priorisierung und Einbindung der Gewerke

Für die weitere Planung empfehlen wir die Reihenfolge: zunächst Instandsetzung der Zähler und Nachrüstung fehlender Messstellen sowie hydraulischer Abgleich der Verteilkreise (höchste Priorität, da Grundlage für alle weiteren Bewertungen), danach die Regelungsprüfung an WP1/2/3 sowie die hygienetechnische und förderrechtliche Klärung bei WP3-Betrieb und Ölkessel, zuletzt Heizkurven-Feinabstimmung, Nutzungsprofil-Formalisierung und Solarkollektor-Verschaltung [Q4]. Einzubeziehende Gewerke sind HLK-Fachplanung (hydraulischer Abgleich, Pufferoptimierung, Ölkessel-Entscheidung, Solarkreis), Regelungstechnik/MSR (Kaskadenlogik, Heizkurve, Legionellen-

Spülschema, Nutzungsprofile), Elektrotechnik/BMS-Integration (Zähler-Nachrüstung), Hygienetechnik (Warmwasserbetrieb), Fördermittelberatung (Ölkessel-Rückbau) und der WP-Hersteller (Kennlinien, Verschleißrisiko) [Q4].

DATENGRUNDLAGE: Messdaten (28 Hypothesen) · Fachrecherche · Berechnung

6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (grobe Ranges): Rund 29.000–64.000 kWh/Jahr belastbar quantifiziertes Potenzial

Die drei am belastbarsten mit Literaturwerten unterlegten Maßnahmen – hydraulischer Abgleich, Pufferspeicher-Optimierung und Heizkurven-Feinabstimmung – ergeben zusammen ein Einsparpotenzial von rund 29.000 bis 64.000 kWh/Jahr, bezogen auf den in Abschnitt 4 hergeleiteten Wärmepumpen-Jahresoutput von rund 128.389 kWh/a [Q4]. Warmwasserbetrieb (WP3) und Nutzungsprofil-Formalisierung liefern zusätzliche, aber deutlich unsicherere Größenordnungen mit ausdrücklichem Überschätzungs-Vorbehalt; für die WP-Kaskadenlogik und die Solarkollektor-Symmetrie lässt sich mangels Datenbasis keine Spanne beziffern. Eine Umrechnung dieser kWh-Werte in Euro ist mit den vorliegenden Unterlagen nicht möglich – wie im folgenden Kasten begründet, gilt dies für den gesamten Bericht. Dies ist eine grobe Voreinschätzung auf Literaturbasis – eine Fachplaner-Begehung mit anlagenspezifischer Detailplanung ist vor jeder Umsetzung erforderlich.



KEINE EUR-UMRECHNUNG OHNE TARIFBLATT

Für keine der Maßnahmen liegt ein Strom- oder Öltarifblatt des Betreibers vor, sodass sich die folgenden kWh-Einsparspannen nicht in Euro umrechnen lassen [Q1][Q4]. Diese Einschränkung betrifft grundsätzlich alle Maßnahmen mit elektrischem Bezug (WP1–3, Heizstab) gleichermaßen und wird hier einmalig als Bedingung für sämtliche folgenden Ranges festgehalten, statt bei jeder einzelnen Maßnahme erneut angeführt zu werden. Sobald ein aktuelles Tarifblatt sowie – für eine trennscharfe Zuordnung – die in Abschnitt 5 empfohlene Nachrüstung von Netzbezugs- und Kälte-Split-Zählern vorliegen, lässt sich aus den unten stehenden kWh-Spannen eine Kostenspanne ableiten; bis dahin sind ausschließlich die Energiemengen belastbar.

Hydraulischer Abgleich und Pufferspeicher-Optimierung tragen das größte quantifizierte Potenzial

Für den in den Abschnitten 3 und 5 als vorrangig eingestuften hydraulischen Abgleich der vier Verteilkreise ergibt die Anwendung der literaturbelegten Bandbreite von 10 bis 30 % Einsparpotenzial für Zweileiter-Heizkreise mit vergleichbarem Low- ΔT -Befund [Q8] auf den in Abschnitt 4 hergeleiteten WP1/2-Jahresanteil von rund 56.100 kWh/a eine Spanne von **rund 5.600 kWh/a bis 9.500 kWh/a**. Angesichts der in Abschnitt 3 gemessenen Low- ΔT -Indizes von 28,7 bis 53,3 % der Auslegungsspreizung liegen die Kreise eher im oberen Bereich dieser Literaturspanne – die Größenordnung bleibt aber ein Rechenwert, keine Vorher-Nachher-Messung.

Für die Pufferspeicher-Optimierung (Abschnitt 3: häufige Durchmischung, Lade-/Entnahme-Fehlanpassung) liefert eine Bandbreite von 15 bis 30 % aus TES-Fachliteratur und Herstellerangaben zu Schichtspeicher-Retrofits [Q9], angewendet auf die gesamte Jahresbaseline von rund 128.389 kWh/a, eine Spanne von **rund 19.000 bis 38.500 kWh/Jahr** – das größte Einzelpotenzial der hier bewerteten Maßnahmen. Herstellerangaben von bis zu 40–60 % bei Diffusor-Nachrüstung bleiben unabhängig unbestätigt und werden bewusst nicht als Planungswert verwendet. Beide Maßnahmen setzen laut Abschnitt 5 voraus, dass die bislang nur visuell geschätzten Kennzahlen (Low- ΔT -Index, Lade-/Entnahme-Verhältnis) vor einer Investitionsentscheidung neu berechnet werden.

Heizkurven-Feinabstimmung: kleiner, aber gesichert quantifizierbarer Beitrag

Die in den Abschnitten 3 und 5 als reine Regelungsarbeit ohne Hardware-Bezug eingestufte Heizkurven-Retuning liefert nach Literaturwerten für die Nachjustierung bestehender Wetterkompensationen (8 bis 15 %, Retuning-Szenario, nicht die bis zu 40 % erreichbaren Werte für Neuparametrierung mit anderer Regelarchitektur) [Q10], angewendet auf den WP1/2-Jahresanteil von rund 56.100 kWh/a, eine Spanne von **rund 3.850 kWh/a bis 6.400 kWh/a**. Der Aufwand ist gering (Parameteranpassung ohne Bauteiländerung), das Potenzial entsprechend klein – konsistent mit der niedrigen Priorität aus Abschnitt 5.

Warmwasserbetrieb WP3: rechnerische Obergrenze bis rund 55.000 kWh/Jahr, realer Wert nicht seriös eingrenzbar

Eine Studie zu legionellensicherer Bedarfsspülung anstelle kontinuierlicher Hochtemperaturhaltung dokumentiert Einsparungen von bis zu 62 % der DHW-Energie [Q11]. Angewendet auf den oberen Wert des in Abschnitt 4 hergeleiteten WP3-Jahresanteils (89.000 kWh) ergibt das eine rechnerische **Obergrenze von rund 55.000 kWh/Jahr** – ausdrücklich als theoretisches Maximum zu verstehen, nicht als Erwartungswert. Zwei Kettenglieder fehlen für eine seriösere Eingrenzung: das tatsächliche Ist-Spülregime des Betreibers ist nicht dokumentiert, und der Anteil der reinen Warmwasserbereitung an der WP3-Gesamtlast lässt sich mit den vorliegenden Kanälen nicht von der Heizungsunterstützung trennen (vgl. Abschnitte 2 und 3). Der real erzielbare Wert liegt nach fachlicher Einschätzung deutlich unter dieser Obergrenze; eine belastbare Zahl kann erst nach Vorlage des Spülprotokolls und einer separaten WW-Messung genannt werden, wie in Abschnitt 5 als Prüfauftrag festgehalten.

Nutzungsprofil-Formalisierung Büro: Größenordnung ist eine Überschätzung, kein eigenständiger Planungswert

Setback-Studien für bürogenutzte Heizzonen zeigen Einsparungen von 7,7 bis 22 % bei konsequenter Zeitplan-/Sollwertsteuerung [Q12]. Eine Übertragung dieser Spanne auf den gesamten WP1/2-Jahresanteil ergäbe rechnerisch rund 4.300 bis 12.300 kWh/Jahr – dieser Wert überzeichnet das reale Potenzial jedoch deutlich, da der Bürokreis Fußbodenheizung EG nur einer von sechs Verteilkreisen ist und ein kreisscharfer Jahreswert mangels eigenem Wärmemengenzähler nicht vorliegt (siehe Abschnitt 3). Da zudem bereits eine informelle Differenzierung zwischen Werktag und Wochenende besteht (Abschnitt 3), ist der zusätzliche Hebel einer vollständigen Formalisierung inkrementell und deutlich kleiner als diese Obergrenze. Eine belastbare, kreisscharfe Zahl setzt die in Abschnitt 5 empfohlene Nachrüstung von Wärmemengenzählern voraus.

WP-Kaskadenlogik und Solarkollektor-Symmetrie: keine belastbare Spanne ohne weitere Datenbasis

Für die in Abschnitt 3 dokumentierte Lastasymmetrie zwischen WP1/2 und WP3 sowie den Lead-Lag-Betrieb liegt zwar eine Analogie aus der allgemeinen Kaskaden-Regelungsliteratur (>40 % Einsparpotenzial gegenüber Parallelbetrieb mit fester Drehzahl) vor, diese ist jedoch nicht raumheizungsspezifisch validiert und wird hier bewusst nicht als Zahl verwendet – die Kette bricht ohne die in Abschnitt 5 angeforderten Herstellerkennlinien (COP über Vorlauftemperatur) ab. Für die Solarkollektor-Reihenasyymmetrie (Abschnitt 3) liegt keine quantifizierte Literaturspanne vor, nur qualitative Evidenz eines Effizienzverlusts durch ungleiche Durchströmung; da der solare Deckungsanteil an der Gesamtwärmeversorgung ohnehin gering ist, bleibt diese Maßnahme wirtschaftlich nachrangig – konsistent mit der niedrigen Priorität aus Abschnitt 5.

Ölkessel-Rückbau: Förderrahmen statt Einsparzahl

Der Ölkessel-Weiterbetrieb bzw. -Rückbau (Abschnitte 3 und 5) ist eine strukturelle, keine energetische Fragestellung und liefert entsprechend keinen kWh-Wert. Die „Sanierungs-offensive 2026“ fördert einen Kesseltausch mit bis zu 30 % der Investitionskosten, gedeckelt auf 7.500 EUR (Luft-Wärmepumpe) bzw. 12.500 EUR (Erdwärme), bei einer Frist bis 31.12.2026 oder bis zur Budgeterschöpfung [Q7]. Dies ist die einzige EUR-Größenordnung in diesem Abschnitt mit belastbarer, benannter Quelle – jedoch mit der in Abschnitt 5 dokumentierten Bedingung, dass die Förderfähigkeit eines reinen Backup-Rückbaus (ohne Primärquellenwechsel, da die Wärmepumpen bereits primär versorgen) noch nicht bestätigt ist. Ohne diese Klärung bleibt der Förderrahmen eine mögliche, keine gesicherte Kostenentlastung.

Mess-Infrastruktur als Vorbedingung ohne eigenen Kosten-Nutzen-Wert

Die in Abschnitt 5 an erster Stelle priorisierte Nachrüstung fehlender Zähler (Kälte-Split, Netzbezug) und Reparatur defekter Wärmemengenzähler (Puffer, Warmwasser, Ölkessel) liefert selbst keinen direkten kWh-Einsparwert, sondern ist Voraussetzung dafür, dass die oben genannten Ranges – insbesondere Pufferspeicher-Optimierung, Warmwasserbetrieb WP3 und Nutzungsprofil-Formalisierung – überhaupt in belastbare Punktwerte überführt werden können. Ein pauschaler Literaturwert von rund 10 % jährlicher Energiekosteneinsparung durch systematisches Monitoring & Verifizierung ist nicht standortspezifisch und wird hier bewusst nicht als Planungswert zitiert. Für die

Zähler-Nachrüstung selbst liegt keine recherchierte oder im Projekt dokumentierte Kostenquelle vor; eine EUR-Zahl wird daher nicht genannt, statt einen Marktpreis ohne Beleg zu schätzen.

MASSNAHME	KWH/JAHR-SPANNE	BELASTBARKEIT	VORAUSSETZUNG VOR UMSETZUNG
Pufferspeicher-Optimierung	19.000–38.500	Mittel (Faktor literaturgestützt, Basis visuell geschätzt)	Neuberechnung Low- ΔT -/Ladeindizes (Abschn. 5)
Hydraulischer Abgleich	5.600 kWh/a–9.500 kWh/a	Mittel-Hoch (Faktor literaturgestützt, Messwerte belastbar)	Einregulierung, ΔT -Kontrollmessung (Abschn. 5)
Heizkurven-Feinabstimmung	3.850 kWh/a–6.400 kWh/a	Hoch (geringer Aufwand, reine Regelung)	Neuberechnung Fit-Parameter (Abschn. 5)
Warmwasserbetrieb WP3	bis ca. 55.000 (Obergrenze, unsicher)	Niedrig — nur theoretisches Maximum	Spülprotokoll, separate WW-Messung (Abschn. 5)
Nutzungsprofil Büro	bis ca. 12.300 (Obergrenze, überzeichnend)	Niedrig — kreisscharfer Wert fehlt	Kreisscharfe Wärmemengenzähler (Abschn. 5)
WP-Kaskadenlogik	kein Wert	—	Herstellerkennlinien COP (Abschn. 5)
Solarkollektor-Symmetrie	kein Wert (Literaturlücke)	—	Hydraulikprüfung Fachbetrieb (Abschn. 5)
Ölkessel-Rückbau	kein kWh-Wert; Förderung bis 7.500–12.500 EUR (30 %)	Hoch (Förderquelle benannt), Eligibilität offen	Förderfähigkeitsklärung, Merkblatt (Abschn. 5)
Mess-Infrastruktur	kein direkter Wert (Enabler)	—	—

HINWEIS ZUR VERWENDUNG DIESER WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG

Die Bandbreiten dieses Abschnitts sind grobe, literaturgestützte Größenordnungen für eine Priorisierung durch den Auftraggeber, keine belastbare Wirtschaftlichkeitsrechnung – Prüfung und Detailplanung durch einen Fachplaner ist für jede der Maßnahmen Voraussetzung vor Umsetzung [Q4].

Quellenverzeichnis

[Q1] Assessment Report: Anlagenschema Heizen und Kühlen, Engelmann Energiesysteme GmbH, Plan-Code 12-390_ENG_5-AFP_A_SCH, Index A, 27.06.2025 [Q2] Assessment Report: Einreichplan 19_036_BGN_VA, Um- und Zubau Engelmann Energiesysteme GmbH, 21.07.2020 [Q3] Datenanalyse: Data Quality Assessment (Messzeitraum, Sensor-Verfügbarkeit, Ausschlusskriterien) [Q4] Datenanalyse: Messdatenauswertung (Lastprofile, Temperaturhübe, Verteilkreis-Kennzahlen, Jahreshochrechnung) [Q5] Fachliteratur: DVGW-Regelwerk zur Trinkwassererwärmung; DIN 16147; WHO-Trinkwasserleitlinien [Q6] Fachliteratur: ASHRAE 90.1-2019 [Q7] Web-Research:

„Sanierungsoffensive 2026“ Kesseltausch-Förderung (BMLUK/oesterreich.gv.at, umweltfoerderung.at) [Q8] Fachliteratur: Studien zu hydraulischem Abgleich und Low-ΔT-Korrektur in Gebäude-Heizkreisen (ScienceDirect/Energy Reports; Taylor & Francis, 2021) [Q9] Fachliteratur/Web-Research: Studien und Herstellerangaben zu Pufferspeicher-Schichtungsoptimierung (ratiotherm; Sailer GmbH; ScienceDirect TES-Review, 2025) [Q10] Fachliteratur: Studien zur Nachjustierung wetterkompensierter Heizkurven (COWI Engineering Report; ResearchGate Adaptive-Control-Studie) [Q11] Fachliteratur: Kaschewski et al., REHVA Journal 06/2020 – Legionellensichere Bedarfsspülung vs. kontinuierliche Hochtemperaturhaltung [Q12] Fachliteratur: Studien zu Nutzungsprofil-/Belegungs-basiertem Setback in Bürozonzen (OSTI/DOE; arXiv, 2022; Schneider Electric, 2025)

DATENGRUNDLAGE: Fachrecherche · Berechnung

Anhangverzeichnis

Die Prüf- und Nachweisdokumente zu diesem Bericht sind in einem **separaten Anhangband** zusammengefasst. Anhangband und Bericht tragen denselben Erzeugungszeitstempel (2026-08-03 14:44 UTC) und Software-Stand (a20298e6b3e5) und gehören nur als Paar zusammen.

ANHANG	ORT
Anhang A: Methodik	separater Anhangband
Anhang B: Pipeline-Annahmen und Caveats	separater Anhangband
Anhang C: Berechnungsblatt	separater Anhangband
Anhang D: Dokumentinformation	in diesem Dokument

Anhang D: Dokumentinformation

FELD	WERT
Projekt	Engelmann_Sarmingstein_-_Frischlauf_02.08._20260802123345
Erstellt	3. August 2026
Erzeugt (Zeitstempel)	2026-08-03 14:44 UTC
Software-Stand (Analyse-Pipeline)	a20298e6b3e5
Fachliche Freigabe	Automatisch erstellt — fachliche Prüfung vorbehalten

Der Software-Stand identifiziert die Version der Analyse-Pipeline, die diesen Bericht erzeugt hat. Prüfbefunde zu diesem Bericht sind damit einem konkreten Softwarestand zuordenbar.



HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die Informationen und Auswertungen in diesem Bericht beruhen auf den vorliegenden Mess- und Anlagendaten sowie den im Dokument dargestellten Annahmen. Dieser Bericht dient ausschließlich als Orientierung und ersetzt keine fachliche Beratung oder umfassende technische Planung. Jede Form der Entscheidung oder Handlung, die auf Grundlage dieses Berichts getroffen wird, erfolgt in alleiniger Verantwortung der beteiligten Projektpartner.

Glossar

Dieser Anhang erläutert die statistischen, thermodynamischen und anlagentechnischen Fachbegriffe, Kennzahlen und Methoden, die im vorliegenden Bericht verwendet werden. Er ist so aufgebaut, dass eine Leserin oder ein Leser mit heizungstechnischem, aber nicht zwingend statistischem oder messtechnischem Hintergrund die Methodik und die Schlussfolgerungen des Berichts nachvollziehen kann.

Statistik & Datenanalyse

Mittelwert und Median — Beide Kennzahlen fassen eine grosse Zahl von Einzelmesswerten zu einem einzigen «typischen» Wert zusammen, tun dies aber auf unterschiedliche Weise. Der Mittelwert (arithmetisches Mittel) ist die Summe aller Werte geteilt durch ihre Anzahl; er reagiert empfindlich auf einzelne sehr hohe oder sehr tiefe Werte (Ausreisser), die ihn stark verzerren können. Der Median ist demgegenüber der Wert, der genau in der Mitte einer der Grösse nach sortierten Reihe liegt – die Hälfte aller Messwerte liegt darüber, die Hälfte darunter. Weil Messdaten aus Heizungsanlagen häufig einzelne extreme Ausreisser enthalten (Sensorfehler, Zählerresets, kurzzeitige Störungen), wird im Bericht überwiegend der Median als robusteres Mass verwendet; er beschreibt den «normalen» Betriebszustand besser als der Mittelwert, weil er von einzelnen Ausreissern nicht verzerrt wird. Eine typische Fehlinterpretation ist, Median und Mittelwert für austauschbar zu halten – weichen beide deutlich voneinander ab, ist das selbst bereits ein Hinweis auf eine schiefe Verteilung oder auf Ausreisser in den Daten.

Streuung, Interquartilsbereich und Boxplot — Ein einzelner Kennwert wie der Median sagt nichts darüber aus, wie stark die zugrundeliegenden Einzelwerte um diesen Wert herum schwanken. Die Streubreite (Spannweite zwischen tiefstem und höchstem plausiblen Wert) und insbesondere der Interquartilsbereich (der Bereich, in dem die mittleren 50 % aller Werte liegen) machen diese Schwankung sichtbar. Im Bericht werden diese Grössen häufig als Boxplot dargestellt: eine «Box», die den Interquartilsbereich zeigt, ein Strich für den Median, oft zusätzlich eine Raute für den Mittelwert, sowie «Whiskers» (Antennen) und einzelne Punkte für Ausreisser ausserhalb des typischen Bereichs. Für die Anlagenbewertung ist die Streubreite oft aussagekräftiger als der Mittelwert allein: Ein Verteilungskreis mit engem Interquartilsbereich arbeitet konstant, ein Kreis mit sehr breiter Streuung – wie im Bericht bei der Wandheizung EG beschrieben – zeigt ein unruhiges, möglicherweise hydraulisch nicht sauber abgestimmtes Betriebsverhalten, selbst wenn sein Medianwert unauffällig erscheint.

Ausreisser — Als Ausreisser bezeichnet man einzelne Messwerte, die deutlich ausserhalb des Bereichs liegen, in dem sich die übrigen Werte bewegen. Ausreisser können reale, aber seltene Betriebszustände abbilden (z. B. eine kurzzeitige Störung), sie können aber auch auf Sensor- oder

Zählerfehler hinweisen. Im Bericht werden Ausreisser deshalb nicht automatisch als «schlecht» gewertet, sondern jeweils eingeordnet: Vereinzelte Ausreisser bei einem ansonsten stabilen Muster (z. B. zwei Ausreisser bei der Heizkurve im Mai) deuten eher auf einen Sensorfehler hin, während gehäufte, wiederkehrende Ausreisser (z. B. bei der Wandheizung DG) eher ein strukturelles Problem im hydraulischen Verhalten anzeigen. Die Faustregel lautet: Einzelne Ausreisser prüfen, ob Messfehler; systematische Häufungen von Ausreissern als Hinweis auf ein reales Anlagenverhalten ernst nehmen.

Korrelationskoeffizient – Der Korrelationskoeffizient ist eine Zahl zwischen -1 und +1, die beschreibt, wie stark zwei Grössen gemeinsam auf- oder absteigen – zum Beispiel die Ölkessel-Aktivität und die Aussentemperatur. Ein Wert nahe +1 bedeutet: Steigt die eine Grösse, steigt auch die andere sehr zuverlässig mit; ein Wert nahe -1 bedeutet einen ebenso zuverlässigen, aber gegenläufigen Zusammenhang (steigt die eine, sinkt die andere); ein Wert nahe 0 bedeutet, dass kein erkennbarer linearer Zusammenhang besteht. Als grobe Faustregel gelten Beträge über etwa 0,7 als starker, Werte zwischen 0,3 und 0,7 als moderater und Werte unter 0,3 als schwacher Zusammenhang. Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Stärke und Vorhandensein eines Zusammenhangs: Ein «moderater» oder «nicht enger» Korrelationskoeffizient – wie im Bericht beim Ölkessel gegenüber der Aussentemperatur beschrieben – bedeutet nicht, dass kein Zusammenhang besteht, sondern nur, dass neben der Aussentemperatur weitere Einflussfaktoren (z. B. schwellwertbasierte Steuerlogik) mitwirken. Eine Korrelation belegt zudem nur einen statistischen Zusammenhang, keine Ursache-Wirkungs-Beziehung – dass sie hier plausibel ist (kälter draussen → mehr Heizbedarf → mehr Kesselaktivität), ergibt sich aus dem technischen Kontext, nicht aus der Statistik allein.

Regression und Fit-Parameter – Eine Regression ist ein statistisches Verfahren, das versucht, den Zusammenhang zwischen zwei Grössen (z. B. Aussentemperatur und benötigte Vorlauftemperatur) durch eine mathematische Formel – meist eine Gerade mit Steigung und Achsenabschnitt, den sogenannten Fit-Parametern – zu beschreiben. Eine belastbare Regression wird auf Basis vieler, systematisch verteilter Messpunkte berechnet und liefert zusätzlich ein Gütemass (häufig als Bestimmtheitsmass R^2 bezeichnet), das angibt, wie gut die gefundene Gerade die tatsächlichen Messwerte trifft: Werte nahe 1 bedeuten eine sehr gute, Werte nahe 0 eine kaum vorhandene Erklärungskraft. Im Bericht wird ausdrücklich unterschieden zwischen einer solchen belastbaren Regression und einer blossen «Schätzung aus der Streuung der Rohdaten» – Letzteres bedeutet, dass die Fit-Parameter der Heizkurve bislang nur grob aus dem sichtbaren Muster der Datenpunkte abgelesen, nicht aber mit einem echten Regressionsverfahren samt Gütemass berechnet wurden. Das ist eine wichtige Einschränkung, bevor man solche Parameter für eine Neuparametrierung der Heizkurve verwendet.

Datenvollständigkeit und Belegungsrate – Die Belegungsrate (oder Datenvollständigkeit) eines Messkanals gibt an, wie viele der theoretisch möglichen Messzeitpunkte tatsächlich mit einem gültigen Wert gefüllt sind, meist als Prozentsatz. Eine niedrige Belegungsrate kann zwei sehr

unterschiedliche Ursachen haben, die man klar auseinanderhalten muss: Entweder wird ein Kanal nur selten oder unregelmässig erfasst (z. B. eine monatliche Zählerablesung über 22 Jahre, die naturgemäss nur wenige Werte pro Jahr liefert), oder ein an sich dicht erfassender Sensor fällt zeitweise tatsächlich aus. Nur im zweiten Fall handelt es sich um ein Qualitätsproblem im engeren Sinn. Für die Interpretation ist entscheidend: Eine Belegungsrate von 38 bis 85 % bei einem 3-Stunden-Raster ist für Muster- und Trendanalysen brauchbar, während einzelne Werte im einstelligen oder niedrigen zweistelligen Bereich über einen Zeitraum von Jahren – wie bei den kumulativen Wärmemengenzählern – für eine Zeitreihenanalyse (Tages- oder Wochenmuster) grundsätzlich ungeeignet sind und höchstens für sehr grobe Tendaussagen taugen.

Kumulativer Zähler, Monotonie und Zählerreset – Ein kumulativer Zähler (z. B. ein Wärmemengenzähler) summiert fortlaufend auf und darf deshalb im Normalfall nur steigen, niemals fallen – diese Eigenschaft nennt man Monotonie. Ein monoton steigender Verlauf ist damit ein einfaches, aber wirkungsvolles Plausibilitätskriterium: Fällt ein kumulativer Zähler zwischenzeitlich ab oder springt abrupt auf null, deutet das auf einen technischen Defekt, einen Geräte austausch oder einen Zählerreset hin, nicht auf einen realen Rückgang des Verbrauchs. Aus solchen kumulativen Werten werden häufig Periodendifferenzen gebildet (Verbrauch einer Abrechnungsperiode = Zählerstand am Ende minus Zählerstand am Anfang); ein Zählerreset erzeugt dabei rechnerisch einen stark negativen «Verbrauch», der vor jeder Aggregation als Artefakt erkannt und herausgefiltert werden muss, da er sonst die Bilanz verfälscht.

Kreuzvalidierung – Kreuzvalidierung bezeichnet hier den Versuch, ein rechnerisch hergeleitetes Ergebnis (z. B. eine aus Vor-/Rücklauftemperatur abgeleitete Proxy-Wärmemenge) unabhängig gegen eine zweite, andersartige Datenquelle zu prüfen – im Bericht etwa gegen reale Wärmemengenzähler. Gelingt eine solche Gegenprobe, steigt das Vertrauen in das Ergebnis erheblich. Scheitert sie – etwa weil die Referenzähler selbst defekt oder nicht plausibel sind –, bedeutet das nicht automatisch, dass das ursprüngliche Ergebnis falsch ist, sondern lediglich, dass es (noch) nicht unabhängig bestätigt werden konnte. Diese Unterscheidung ist zentral für die Einordnung der Jahreshochrechnung im Bericht: Eine gescheiterte Kreuzvalidierung entwertet die Hochrechnung nicht, senkt aber ihren Beweisstatus von «bestätigt» auf «plausible Grössenordnung».

Proxy-Rechnung – Eine Proxy-Rechnung (Ersatzgrössen-Rechnung) leitet eine gesuchte, nicht direkt gemessene Grösse aus anderen, tatsächlich vorhandenen Messwerten und bekannten technischen Kennwerten ab. Im Bericht wird die von den Wärmepumpen abgegebene Wärmeleistung nicht direkt gemessen (die Wärmemengenzähler liefern zu wenige Werte), sondern aus der gemessenen Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf sowie dem bekannten Nenn-Volumenstrom berechnet, gestützt auf die physikalische Beziehung $\text{Wärmeleistung} = \text{Volumenstrom} \times \text{spezifische Wärmekapazität des Wassers} \times \text{Temperaturspreizung}$. Eine Proxy-Rechnung ist ein legitimes und in der Energieanalyse übliches Verfahren, wenn direkte Messwerte fehlen – sie bleibt aber eine Ableitung mit eigenen Fehlerquellen (z. B. Abweichungen des realen vom angenommenen Nenn-Volumenstrom) und ist entsprechend vorsichtiger zu interpretieren als eine direkte Zählermessung.

Wärme, Temperatur und Anlagenkennzahlen

Vorlauf, Rücklauf und Temperaturspreizung (ΔT) – In einem wasserführenden Heizsystem bezeichnet der Vorlauf das vom Wärmeerzeuger (z. B. Wärmepumpe) zum Verbraucher (z. B. Heizkörper oder Fussbodenheizung) fliessende, erwärmte Wasser; der Rücklauf ist das nach Wärmeabgabe zum Erzeuger zurückfliessende, abgekühlte Wasser. Die Differenz zwischen Vorlauf- und Rücklauftemperatur wird als Temperaturspreizung oder ΔT (Delta-T) bezeichnet und ist eine der wichtigsten Kennzahlen der Heizungstechnik überhaupt: Sie zeigt an, wie viel Wärme das durchströmende Wasser pro Liter tatsächlich abgibt. Eine grosse Spreizung bedeutet, dass viel Wärme pro Wassermenge übertragen wird (effizient, geringerer nötiger Volumenstrom); eine kleine Spreizung bedeutet, dass verhältnismässig viel Wasser durch das System gepumpt werden muss, um dieselbe Wärmemenge zu übertragen. Als grobe Faustregel gelten bei Radiatorheizungen Spreizungen von rund 10–20 K als üblich, bei Fussboden- und Flächenheizungen typischerweise deutlich geringere Werte im Bereich von etwa 5–10 K, da hier grössere Übertragungsflächen bei niedrigerer Vorlauftemperatur arbeiten. Der im Bericht synonym verwendete Begriff «Temperaturhub» meint dasselbe wie Temperaturspreizung.

Low- ΔT -Index – Der Low- ΔT -Index im Bericht setzt die tatsächlich gemessene Temperaturspreizung eines Verteilkreises ins Verhältnis zu seiner Auslegungsspreizung (dem Wert, für den der Kreis ursprünglich dimensioniert wurde), ausgedrückt in Prozent. Ein Wert von 100 % bedeutet, dass der Kreis exakt so arbeitet wie geplant; ein Wert deutlich unter 100 % bedeutet, dass die reale Spreizung kleiner ist als vorgesehen. Das ist deshalb relevant, weil eine dauerhaft zu kleine Spreizung typischerweise auf einen zu hohen Volumenstrom in diesem Kreis hindeutet (die Umwälzpumpe fördert mehr Wasser, als für die abgegebene Wärmemenge nötig wäre) – ein klassisches Symptom für einen fehlenden oder unzureichenden hydraulischen Abgleich. Negative Werte oder Werte deutlich über 100 % sind Anzeichen für zeitweise umgekehrte oder stark schwankende Strömungsverhältnisse und damit ein noch deutlicheres Warnsignal. Als Faustregel gilt: Werte nahe 100 % zeigen einen auslegungsnahen, «gesunden» Betrieb; Werte deutlich unter etwa 50 % oder mit grosser Streuung rechtfertigen eine genauere hydraulische Prüfung des betroffenen Kreises.

Leistung und Energie (kW versus kWh) – Leistung (in Kilowatt, kW) beschreibt eine Momentangrösse: wie viel Wärme oder Strom ein Gerät in einem bestimmten Augenblick abgibt oder aufnimmt. Energie (in Kilowattstunden, kWh) ist die über eine Zeitspanne aufsummierte Leistung – eine kWh entspricht einer Leistung von 1 kW, die eine Stunde lang anliegt. Diese Unterscheidung ist grundlegend für das Verständnis vieler Berichtsteile: Die «Lastdauerlinie» und die Auslastungs-Kennzahlen arbeiten mit Momentanleistung (kW), während die Jahresbilanz und die Einsparpotenziale in Energie (kWh) angegeben sind. Eine Anlage kann kurzzeitig sehr hohe Leistung abrufen (z. B. an einem kalten Wintermorgen), ohne dass daraus automatisch ein hoher Jahresenergieverbrauch folgt, wenn solche Spitzen selten und kurz sind – umgekehrt liefert eine

niedrige, aber sehr lange andauernde Leistung (wie die konstante WP3-Grundlast) über das Jahr betrachtet eine erhebliche Energiemenge.

Nennleistung und Auslegungspunkt — Die Nennleistung eines Wärmeerzeugers ist die vom Hersteller angegebene maximale Leistung unter definierten Referenzbedingungen, dem sogenannten Auslegungspunkt (z. B. «10,9 kW bei Vorlauf 55 °C und Aussentemperatur -7 °C»). Wichtig zu verstehen ist, dass die tatsächlich verfügbare Leistung einer Luft-Wärmepumpe mit sinkender Aussentemperatur abnimmt, weil der Kompressor der kälteren Aussenluft weniger Wärme entziehen kann – die Nennleistung gilt daher nur exakt am angegebenen Auslegungspunkt, nicht darüber hinaus. Der Auslegungspunkt selbst ist eine bewusst gewählte «worst case»-Randbedingung: Die Anlage soll auch am kältesten für den Standort erwarteten Tag noch ausreichend Wärme liefern können. Wird die tatsächliche Auslastung (in Prozent der Nennleistung) an solchen kalten Tagen betrachtet, zeigt sich, wie eng die reale Belastung an die Auslegungsgrenze heranreicht – nähert sie sich 100 %, ist die Anlage an ihrer Kapazitätsgrenze und auf Backup-Wärmeerzeuger (hier: Ölkessel) angewiesen, sollte es noch kälter werden als am Auslegungspunkt vorgesehen.

Leistungszahl / COP — Der COP (Coefficient of Performance, Leistungszahl) einer Wärmepumpe beschreibt das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zu aufgenommener elektrischer Leistung. Ein COP von beispielsweise 3,5 bedeutet, dass die Wärmepumpe aus einer Kilowattstunde Strom 3,5 Kilowattstunden Wärme erzeugt (die Differenz stammt aus der Umgebungsluft bzw. -wärme). Der COP ist keine feste Gerätekonstante, sondern hängt stark von der benötigten Vorlauftemperatur und der Aussentemperatur ab: Je näher Vorlauf- und Aussentemperatur beieinanderliegen, desto höher der COP, je grösser die Differenz (z. B. hohe Vorlauftemperatur bei sehr kalter Aussenluft), desto niedriger. Genau deshalb ist die im Bericht angemahnte Teillast-Kennlinie (COP in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur, nicht nur der eine Nennwert am Auslegungspunkt) so wichtig: Ohne sie lässt sich nicht beurteilen, ob eine dauerhaft mit hohem Temperaturniveau betriebene Wärmepumpe (wie WP3 im Bericht) auch deutlich ineffizienter arbeitet als die übrigen Geräte, oder ob dieser Effekt gering ausfällt.

Volumenstrom und Massenstrom — Der Volumenstrom gibt an, welche Wassermenge pro Zeiteinheit durch einen Kreislauf strömt (z. B. Liter pro Stunde), der Massenstrom die entsprechende Masse pro Zeiteinheit (z. B. Kilogramm pro Sekunde) – bei Wasser sind beide Grössen wegen der bekannten Dichte direkt ineinander umrechenbar, bei einem Glykol-Wasser-Gemisch (wie im Solarkreis) weichen sie wegen der abweichenden Dichte und Wärmekapazität geringfügig ab. Der Volumenstrom ist die zweite zentrale Grösse neben der Temperaturspreizung, um die übertragene Wärmeleistung zu berechnen ($\text{Leistung} = \text{Volumenstrom} \times \text{Wärmekapazität} \times \text{Spreizung}$) – deshalb wird im Bericht der «Nenn-Volumenstrom» als feste Rechengrösse für die Proxy-Wärmeleistung der Wärmepumpen herangezogen. Ein charakteristisches Volumenstrom-«Signatur»-Muster (z. B. eine ungleiche Aufteilung des Massenstroms zwischen zwei parallel verschalteten Kollektorsträngen) zeigt sich indirekt über eine Temperaturasymmetrie: Bekommt ein Strang unbemerkt weniger Durchfluss als der andere, erwärmt sich sein Wasser bei gleicher Einstrahlung stärker – die

gemessene Temperaturdifferenz zwischen beiden Strängen ist dann ein Indiz für eine ungleiche hydraulische Durchströmung, ohne dass der Volumenstrom selbst je Strang gemessen werden müsste.

Witterungsbereinigung und Jahreshochrechnung

Heizgradtage (HGT) – Heizgradtage sind eine standardisierte Kennzahl der Bautechnik und Energiewirtschaft, um den «Heizbedarf» eines Zeitraums unabhängig von Anlagentechnik zu quantifizieren. Vereinfacht gesagt wird für jeden Tag die Differenz zwischen einer festgelegten Raum-Referenztemperatur (z. B. 20 °C) und der mittleren Aussentemperatur gebildet – ist die Aussentemperatur über der Heizgrenze, wird der Tag nicht mitgezählt – und über den betrachteten Zeitraum aufsummiert. Ein kalter Wintermonat erzeugt entsprechend viele Heizgradtage, ein milder Frühsommer nur wenige bis keine. Heizgradtage sind deshalb so wertvoll, weil sie es erlauben, den Heizwärmebedarf zweier unterschiedlich kalter Zeiträume (etwa ein gemessenes Teiljahr und ein «typisches» Gesamtjahr) direkt miteinander in Beziehung zu setzen, vorausgesetzt der zugrundeliegende Wärmebedarf verhält sich tatsächlich proportional zur Aussentemperatur. Die Faustregel «kalter Standort → viele Heizgradtage pro Jahr, milder Standort → wenige» erlaubt eine grobe Einordnung, ersetzt aber keine standortspezifische Klimadatenreihe.

Witterungsbereinigung und HDD-Normierung – Witterungsbereinigung (im Bericht auch als HDD-Normierung bezeichnet, HDD = «heating degree days», englisch für Heizgradtage) bedeutet, gemessene Energie- oder Leistungswerte auf ein einheitliches Witterungsniveau umzurechnen, um sie über verschieden warme oder kalte Zeiträume hinweg fair vergleichbar zu machen. Ohne diese Bereinigung würde ein milder Winter fälschlich als «Effizienzverbesserung» und ein kalter Winter fälschlich als «Verschlechterung» der Anlage erscheinen, obwohl beides allein an der Witterung liegt. Die Methode setzt aber voraus, dass der betrachtete Energieverbrauch tatsächlich witterungsabhängig ist – für die reine Raumheizung (WP1/WP2) ist diese Annahme sachgerecht, für einen weitgehend witterungsunabhängigen Verbrauch wie die Warmwasserbereitung (WP3) führt eine witterungsbasierte Skalierung dagegen systematisch in die Irre, weil sie einen tatsächlich konstanten Verbrauch fälschlich so behandelt, als würde er im Sommer stark absinken.

Spezifische Intensität – Die spezifische Intensität (im Bericht in kWh je Heizgradtag angegeben) ist das Bindeglied zwischen der gemessenen Energiemenge eines Zeitraums und dessen Heizgradtagen: Sie beschreibt, wie viel Wärmeenergie die Anlage im Mittel pro «Heizgradtag» Witterungsbedarf tatsächlich liefert. Diese Kennzahl wird aus dem Messfenster berechnet und anschliessend auf die für ein volles Jahr angenommenen Heizgradtage übertragen, um eine Jahreshochrechnung zu erhalten. Die spezifische Intensität ist damit selbst kein Effizienzmass im engeren Sinn, sondern eine reine Skalierungsgrösse – ihre Aussagekraft steht und fällt mit der bereits erwähnten Voraussetzung, dass der zugrundeliegende Verbrauch tatsächlich weitgehend proportional zur Witterung verläuft.

Lineare Extrapolation / Hochrechnung – Extrapolation bedeutet, aus einem bekannten, begrenzten Datenbereich (hier: rund sechs Monate gemessene Werte) auf einen grösseren, nicht direkt gemessenen Bereich (hier: ein volles Jahr) zu schliessen, indem ein angenommenes Muster fortgeschrieben wird. Eine lineare Hochrechnung im engeren Sinn würde einen einfachen proportionalen Zusammenhang unterstellen (doppelte Zeitspanne = doppelter Wert); die im Bericht verwendete Heizgradtag-Hochrechnung ist etwas differenzierter, da sie nicht die Zeit, sondern den Witterungsbedarf als Bezugsgrösse nimmt. Jede Extrapolation ist grundsätzlich unsicherer als eine direkte Messung, weil sie voraussetzt, dass sich das Verhalten ausserhalb des gemessenen Bereichs so fortsetzt wie innerhalb – eine Annahme, die für witterungsgetriebene Verbräuche recht gut, für konstante oder nutzungsgetriebene Verbräuche (wie WP3) deutlich schlechter zutrifft. Eine Hochrechnung sollte deshalb stets als plausible Grössenordnung und nicht als bestätigter Messwert kommuniziert werden, insbesondere wenn – wie im Bericht dokumentiert – eine unabhängige Kreuzvalidierung nicht gelungen ist.

Lastdauerlinie – Eine Lastdauerlinie stellt nicht den zeitlichen Verlauf einer Leistung dar (wie ein gewöhnliches Zeitdiagramm), sondern alle gemessenen Leistungswerte eines Zeitraums der Grösse nach absteigend sortiert, unabhängig davon, wann sie aufgetreten sind. Dadurch lässt sich auf einen Blick ablesen, wie viel Prozent der Zeit eine Anlage über einem bestimmten Leistungsniveau arbeitet – zum Beispiel, dass die Nennleistung nur in den obersten Prozentanteilen der Zeit annähernd erreicht wird, während die Anlage die meiste Zeit deutlich darunter im Teillastbereich läuft. Diese Darstellung ist besonders nützlich, um die tatsächliche Auslastungsverteilung einer Anlage zu verstehen und zu beurteilen, ob eine Anlage für seltene Spitzenlasten überdimensioniert ist oder ob sie tatsächlich häufig nahe ihrer Kapazitätsgrenze arbeitet. Ein «Plateau» in der Lastdauerlinie – ein Bereich, in dem die Kurve über einen grösseren Zeitanteil nahezu konstant bleibt – deutet auf einen wiederkehrenden Grundlastbetrieb bei einem bestimmten Leistungsniveau hin, etwa eine ganzjährig ähnlich hohe Warmwasserbereitung.

Hydraulik und Speichertechnik

Hydraulischer Abgleich – Der hydraulische Abgleich ist eine Einregulierung eines Heizungssystems mit mehreren Verteilkreisen (oder mehreren Heizkörpern innerhalb eines Kreises), bei der die Wasserverteilung so eingestellt wird, dass jeder Kreis/Heizkörper genau den Volumenstrom erhält, den er für seine Wärmeabgabe tatsächlich benötigt – nicht mehr und nicht weniger. Ohne Abgleich fliesst das Wasser bevorzugt durch die Kreise mit dem geringsten Strömungswiderstand (meist die kürzesten oder nächstgelegenen), während weiter entfernte oder enger dimensionierte Kreise unterversorgt bleiben; die Pumpe muss dann insgesamt mehr fördern und mit höherer Leistung laufen, als bei optimaler Verteilung nötig wäre. Ein durchgeführter hydraulischer Abgleich zeigt sich messtechnisch typischerweise in saubereren, näher an der Auslegung liegenden Temperaturspreizungen über alle Kreise hinweg (siehe Low- ΔT -Index) und ermöglicht niedrigere Pumpenleistung sowie oft auch niedrigere Vorlauftemperaturen, was besonders bei Wärmepumpen

den COP verbessert. Die einschlägige Regel zur Dimensionierung eines solchen Abgleichs im deutschsprachigen Raum ist die VDI 2073 (siehe Abschnitt «Normen»).

Hydraulische Weiche – Eine hydraulische Weiche ist ein bauliches Element (häufig ein kurzes, weites Rohrstück oder ein kleiner Behälter), das den Erzeugerkreislauf (hier: die drei Wärmepumpen, Solarthermie, Ölkessel) hydraulisch vom Verbraucherkreislauf (die sechs Verteilkreise) entkoppelt. Diese Entkopplung sorgt dafür, dass unterschiedliche Volumenströme auf Erzeuger- und Verbraucherseite sich nicht gegenseitig störend beeinflussen – etwa wenn die Erzeugerseite mehr oder weniger Wasser fördert, als die Verbraucherseite gerade abnimmt. Im vorliegenden Bericht übernimmt der zentrale Pufferspeicher mit seinen getrennten Anschlussebenen für Erzeuger- und Verbraucherseite im Wesentlichen diese Funktion einer hydraulischen Weiche.

Pufferspeicher, Schichtung und Durchmischung – Ein Pufferspeicher ist ein grosser, wassergefüllter Behälter, der als thermischer Zwischenspeicher zwischen unregelmässig arbeitenden Wärmeerzeugern (die z. B. nur getaktet laufen) und dem tatsächlichen, oft anders zeitlich verteilten Wärmebedarf der Verbraucher dient. Im Idealfall arbeitet ein solcher Speicher als «Schichtspeicher»: Warmes Wasser sammelt sich physikalisch bedingt (geringere Dichte) oben, kälteres unten, sodass eine stabile Temperaturschichtung mit einem deutlichen Unterschied zwischen oberem und unterem Fühler entsteht. Diese Schichtung ist wichtig, weil sie es erlaubt, aus dem oberen Speicherbereich stets möglichst heisses Wasser zu entnehmen, während gleichzeitig unten noch kühles Rücklaufwasser für eine effiziente (weil kühle) Rückführung zum Erzeuger zur Verfügung steht. Eine «Durchmischung» bezeichnet den gegenteiligen Zustand: Wenn oberer und unterer Fühler nahezu dieselbe Temperatur zeigen, hat sich die Schichtung aufgelöst, der Speicher verhält sich eher wie ein einziger, gleichmässig temperierter Wasserkörper. Ein häufig durchmischter Speicher verliert einen Teil seiner Pufferfunktion, da er weniger klar zwischen «bereits nutzbar heissem» und «noch aufzuheizendem» Wasser unterscheiden kann – dies äussert sich oft in vermehrter Kurzzyklustaktung der Erzeuger, weil der Speicher seine Ausgleichswirkung nur eingeschränkt entfalten kann. Eine wesentliche Ursache für schlechte Schichtung ist eine ungünstige Anschluss hydraulik (z. B. fehlende oder falsch positionierte Diffusoren an den Einströmstellen), die das einströmende Wasser zu stark verwirbelt statt es sauber in die passende Schichthöhe einzuleiten.

Tichelmann-Verschaltung – Die Tichelmann-Verschaltung (auch Tichelmann-Prinzip) ist eine Rohrleitungsführung für parallel verschaltete Stränge (z. B. mehrere Kollektorreihen einer Solaranlage), bei der die Gesamtlänge von Vor- und Rücklaufweg für jeden Strang gleich lang ausgeführt wird – der Strang, der auf dem Vorlaufweg zuerst erreicht wird, hat auf dem Rücklaufweg den längsten Weg zurückzulegen, und umgekehrt. Dadurch erhält jeder parallele Strang denselben Strömungswiderstand und folglich denselben Volumenstrom, ohne dass eine aufwendige Einzelregulierung jedes Strangs nötig wäre. Fehlt eine solche Verschaltung oder ist sie fehlerhaft ausgeführt, kann es – wie im Bericht bei der Solarthermie beschrieben – zu einer systematisch

ungleichen Durchströmung paralleler Stränge kommen, die sich indirekt als Temperaturasymmetrie zwischen den Strängen zeigt.

Anlagenbetrieb und Regelung

Zweizustands-Betrieb versus Modulation – Ein Wärmeerzeuger kann grundsätzlich auf zwei Arten geregelt werden: im Zweizustands- oder Ein/Aus-Betrieb schaltet er entweder mit voller Leistung oder ist ganz ausgeschaltet, es gibt praktisch keine Zwischenstufen; im modulierenden (leistungsgeregelten) Betrieb kann er seine Leistung stufenlos oder in feinen Stufen an den aktuellen Bedarf anpassen. Moderne Wärmepumpen sind technisch meist zur Modulation fähig, weil ein modulierender Betrieb üblicherweise effizienter ist (weniger Schaltverluste, bessere Anpassung an die tatsächlich benötigte Leistung) und die Anlagenkomponenten schont. Häuft sich die gemessene Auslastung stattdessen sichtbar an zwei Extrempunkten (z. B. nahe einem Drittel und nahe der vollen Nennleistung, wie im Bericht beschrieben), deutet das darauf hin, dass die Regelung faktisch eher wie ein Ein/Aus-Schalter arbeitet als eine kontinuierliche Modulation auszunutzen – ein Befund, der Anlass für eine Regelungsprüfung gibt, aber nicht zwingend ein Fehler sein muss, wenn er dem Auslegungskonzept entspricht.

Taktung / Schaltzyklen – Als Taktung bezeichnet man die Häufigkeit, mit der ein Wärmeerzeuger oder ein Speicherlade-/Entladevorgang innerhalb eines bestimmten Zeitraums ein- und wieder ausschaltet – ausgedrückt z. B. als Anzahl Zyklen pro Tag. Häufiges Takten (viele kurze Ein-Aus-Wechsel) ist bei den meisten Wärmeerzeugern unerwünscht, da jeder Start eines Kompressors einen erhöhten Anlaufstrom, mechanischen Verschleiss und einen kurzzeitig schlechteren Wirkungsgrad verursacht, bevor das Gerät seinen stabilen Betriebspunkt erreicht. Eine als weitgehend konstant beschriebene Taktfrequenz ohne erkennbaren saisonalen Trend – wie im Bericht bei den Pufferspeicher-Lade-/Entnahmezyklen dokumentiert – ist für sich genommen kein Problem, wird aber im Zusammenhang mit anderen Befunden (z. B. häufiger Durchmischung des Puffers) als Indiz für eine insgesamt suboptimale Speicherhydraulik gewertet, da eine gut gepufferte Anlage tendenziell seltenere, dafür längere Erzeugerzyklen ermöglicht.

Lead-Lag-Betrieb – Lead-Lag (englisch für «Führung-Folge») bezeichnet eine Betriebsweise mehrerer baugleicher Erzeuger, bei der nicht alle Geräte gleichmässig und gleichzeitig laufen, sondern ein Gerät («Lead») bevorzugt zuerst und häufiger zugeschaltet wird, während das oder die anderen («Lag») nur bei zusätzlichem Bedarf hinzukommen. Diese Betriebsweise wird in der Anlagentechnik teils bewusst eingesetzt, etwa um die Laufzeiten gezielt zu staffeln (Schonung eines Geräts, Reduktion von gleichzeitigen Schaltvorgängen) oder um im Teillastbereich möglichst nur ein Gerät nahe seinem effizienten Betriebspunkt laufen zu lassen, statt zwei Geräte gleichzeitig in ineffizienter Teillast zu betreiben. Ob eine im Messverlauf sichtbare Asymmetrie zwischen zwei baugleichen Geräten (wie WP1 und WP2 im Bericht) einem bewussten Lead-Lag-Konzept folgt oder eine unbeabsichtigte Regelungenauigkeit darstellt, lässt sich aus reinen Temperaturmessdaten

allein nicht sicher unterscheiden – dafür ist ein Blick in die tatsächliche Regelungslogik bzw. eine Rücksprache mit dem Hersteller oder der Regelungstechnik nötig.

Kaskadenlogik – Als Kaskade bezeichnet man in der Anlagentechnik die Zusammenschaltung mehrerer Wärmeerzeuger zu einem gestuften Gesamtsystem, bei dem die übergeordnete Regelung (Kaskadenlogik) entscheidet, welches Gerät wann und mit welcher Priorität zugeschaltet wird, um den momentanen Gesamtwärmebedarf zu decken. Eine gut ausgelegte Kaskadenlogik verteilt die Last so auf die vorhandenen Geräte, dass jedes möglichst in einem effizienten Betriebsbereich läuft und keines dauerhaft überlastet oder verschleissintensiv nahe der Volllastgrenze betrieben wird, während andere nahezu ungenutzt bleiben. Eine dauerhaft stark ungleiche Lastverteilung zwischen den Geräten einer Kaskade (wie im Bericht zwischen WP1/WP2 und der nahezu durchgehend voll ausgelasteten WP3 beschrieben) ist deshalb ein Prüfpunkt: Sie kann eine bewusste Konstruktionsentscheidung sein (z. B. Priorisierung der Warmwasserbereitung), aber auch auf ein Verschleissrisiko für das dauerhaft stark beanspruchte Gerät oder auf eine nicht optimal eingestellte Kaskadenlogik hindeuten.

Wetterkompensierte Heizkurve – Eine wetterkompensierte (aussentemperaturgeführte) Heizkurve ist die Regelungsvorschrift, mit der ein Heizsystem die benötigte Vorlauftemperatur automatisch an die gemessene Aussentemperatur anpasst: Je kälter es draussen ist, desto höher wird die Vorlauftemperatur nachgeführt, um den steigenden Wärmebedarf des Gebäudes zu decken, und umgekehrt bei milder Witterung. Diese Anpassung erfolgt nach einer im Regler hinterlegten Kennlinie (eben der «Heizkurve»), deren Steigung und Niveau (Fit-Parameter, siehe oben) auf das jeweilige Gebäude und Heizsystem eingestellt werden müssen. Eine korrekt eingestellte Heizkurve ist zentral für die Effizienz, weil sie unnötig hohe Vorlauftemperaturen (die den COP der Wärmepumpe verschlechtern) ebenso vermeidet wie zu niedrige Vorlauftemperaturen (die zu kalten Räumen führen würden). Zeigt die Regelabweichung – die Differenz zwischen der von der Kurve vorgegebenen und der tatsächlich gefahrenen Vorlauftemperatur – über die Jahreszeiten hinweg keinen systematischen Trend («Drift»), arbeitet die Heizkurve grundsätzlich stabil; ein solcher Befund rechtfertigt höchstens eine Feinjustierung, aber keinen grundlegenden Eingriff.

Legionellen-Thematik und Hochtemperaturhaltung – Legionellen sind Bakterien, die sich in stehendem oder unzureichend erwärmtem Warmwasser (insbesondere im Temperaturbereich zwischen etwa 25 °C und 45 °C) vermehren können und beim Einatmen feiner Wassertröpfchen (z. B. beim Duschen) gesundheitsgefährdend sind. Zum Schutz davor schreiben einschlägige Regelwerke (siehe DVGW-Regelwerk unten) vor, Warmwasserspeicher regelmässig auf ausreichend hohe Temperaturen (häufig wird ein Schwellenwert von rund 60 °C als Referenz herangezogen) zu erwärmen, um vorhandene Bakterien abzutöten – entweder durch eine dauerhaft hohe Speichertemperatur oder durch periodische, gezielte Aufheiz-/Spülzyklen. Im Bericht wird deshalb zwischen zwei grundsätzlich unterschiedlichen Betriebsphilosophien unterschieden: einer kontinuierlichen Hochtemperaturhaltung (der Speicher wird dauerhaft heiss gehalten, was hygienisch sicher, aber energetisch aufwendig ist) und einer bedarfsbasierten, periodischen Spülung

(nur zeitweise Aufheizung auf Desinfektionstemperatur, energetisch günstiger, aber ohne konsequente Umsetzung mit Hygienierisiko verbunden). Dass ein gesuchtes periodisches Spülmuster in den Temperaturdaten nicht auffindbar ist, beweist dabei ausdrücklich nicht, dass keine Desinfektionsroutine existiert – sie könnte z. B. anders getaktet sein, als die Analyse erwartet, oder über eine kontinuierliche Hochtemperaturhaltung ohnehin erreicht werden. Jede Umstellung dieses Betriebs auf ein energetisch günstigeres Regime darf daher ausschliesslich nach fachlicher, hygienetechnischer Prüfung erfolgen, da hier Gesundheitsschutz vor Effizienz steht.

Sollwert-Rückstellung / Setback – Unter Sollwert-Rückstellung (englisch «Setback») versteht man das gezielte, zeitgesteuerte Absenken der Raumtemperatur-Sollwerte während Zeiten ohne oder mit reduzierter Nutzung – etwa in einem Bürobereich ausserhalb der Arbeitszeiten oder am Wochenende. Da der Wärmeverlust eines Gebäudes näherungsweise proportional zur Differenz zwischen Innen- und Aussentemperatur ist, reduziert eine niedrigere Innentemperatur in ungenutzten Zeiten den Wärmebedarf, ohne den Komfort während der tatsächlichen Nutzungszeit zu beeinträchtigen (sofern die Anlage rechtzeitig vor Nutzungsbeginn wieder aufheizt). Ein bereits informell vorhandenes Muster – wie im Bericht der höhere Werktags- gegenüber dem Wochenend-Temperaturhub im Bürokreis – zeigt, dass ein Teil dieser Wirkung faktisch schon eintritt, auch ohne eine formal programmierte Zeitschaltung; eine vollständige Formalisierung (feste Zeitpläne statt beiläufiger Effekte) liefert dann typischerweise nur noch einen zusätzlichen, kleineren Effekt.

Normen und Richtlinien

Energieausweis und kWh/m²·a-Benchmark – Ein Energieausweis ist ein amtliches oder genormtes Dokument, das den Energiebedarf oder -verbrauch eines Gebäudes auf eine Bezugsfläche (meist die beheizte Nettogeschossfläche) umrechnet und so den Vergleich mit anderen Gebäuden oder mit Effizienzklassen ermöglicht – ausgedrückt als Kennzahl in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m²·a). Diese Flächenbezugsgrösse ist deshalb so gebräuchlich, weil sie unterschiedlich grosse Gebäude fair vergleichbar macht: Ein grosses Gebäude verbraucht naturgemäss mehr Gesamtenergie als ein kleines, ohne dass das etwas über seine Effizienz aussagen müsste. Fehlt – wie im vorliegenden Bericht – sowohl der Energieausweis als auch eine dokumentierte Gesamtnutzfläche, entfällt diese Vergleichsmöglichkeit vollständig; die Grundstücksfläche (die Fläche des Grundstücks, nicht des Gebäudes) ist hierfür ausdrücklich ungeeignet, da sie in keinem sinnvollen Verhältnis zur beheizten Fläche oder zum Energiebedarf steht.

VDI 2073 – Die VDI 2073 ist eine Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure, die den hydraulischen Abgleich von Heizungsanlagen fachlich einordnet und Vorgehensweisen sowie Berechnungsgrundlagen für dessen korrekte Durchführung beschreibt. Sie dient im Bericht als üblicher fachlicher Referenzrahmen, an dem sich ein durchzuführender hydraulischer Abgleich orientieren sollte; da sie im konkreten Fall nicht anhand der vorliegenden Unterlagen verifiziert werden konnte, bleibt sie ein an den ausführenden Fachplaner gerichteter Prüfauftrag statt einer bereits bestätigten Grundlage.

ASHRAE 90.1 – ASHRAE 90.1 ist ein international breit anerkannter Standard der US-amerikanischen Fachgesellschaft für Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), der unter anderem Vorgaben zu energieeffizientem Gebäudebetrieb enthält, darunter auch Regeln zu nutzungsabhängiger Sollwert-Rückstellung (Setback) in gewerblich genutzten Zonen wie Büros. Er wird im Bericht als üblicher Referenzrahmen herangezogen, um eine mögliche Formalisierung der bereits informell erkennbaren Werktags-/Wochenend-Differenzierung im Bürokreis fachlich einzuordnen.

DVGW-Regelwerk, DIN 16147 und WHO-Trinkwasserleitlinien – Das DVGW-Regelwerk ist die Sammlung technischer Regeln des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches, die unter anderem hygienische Anforderungen an die Trinkwassererwärmung (also auch an Warmwasserspeicher in Heizungsanlagen) und den Legionellenschutz festlegen. DIN 16147 ist eine Norm mit Bezug zu Wärmepumpen bzw. deren Kennwerten im Kontext der Trinkwassererwärmung. Die WHO-Trinkwasserleitlinien sind internationale Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation zur Trinkwasserqualität und -sicherheit, die ebenfalls Vorgaben zum Legionellenschutz enthalten. Zusammen bilden diese Regelwerke den fachlichen Massstab, an dem jedes tatsächliche Spülprotokoll und jede geplante Änderung des Warmwasserbetriebs (wie im Bericht bei WP3 diskutiert) geprüft werden muss, bevor aus Effizienzgründen am Betrieb der Warmwasserbereitung etwas verändert wird.

IPMVP – Das IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) ist ein international anerkanntes Rahmenwerk zur methodisch sauberen Messung und Verifizierung von Energieeinsparungen – es legt fest, wie Vorher-Nachher-Vergleiche, Baseline-Bildung und Witterungsbereinigung durchzuführen sind, damit eine behauptete Einsparung tatsächlich der umgesetzten Massnahme und nicht zufälligen Rahmenbedingungen (z. B. einem milderen Winter) zugeschrieben werden kann. Es wird im Bericht als fachlicher Rahmen für die empfohlene Nachrüstung und Reparatur der Mess-Infrastruktur genannt, weil erst eine nach solchen Grundsätzen belastbare Messbasis es erlaubt, die in Abschnitt 6 diskutierten Einsparpotenziale später tatsächlich zu verifizieren, statt sie auf Literaturwerten beruhen zu lassen.

| **⚠ Zu prüfende Konsistenz-Punkte**

Das automatisierte Konsistenz-Gate hat die folgenden Widersprüche zwischen Text, Diagrammen und/oder Referenzwerten gefunden und konnte sie nach mehreren Selbstheilungsversuchen nicht automatisch auflösen. Bitte im Rahmen der fachlichen Prüfung gezielt gegenprüfen:

1. Einsparpotenzial hydraulischer Abgleich der vier Verteilkreise (kWh/Jahr)

- Art: canonical_mismatch
- Behauptung: **5.600 kWh/a – 9.500 kWh/a** – Abschnitt 6, Fließtext 'Hydraulischer Abgleich und Pufferspeicher-Optimierung' + Maßnahmentabelle
- Behauptung: **3.900 kWh/a – 19.300 kWh/a** – Canonical value savings_auf02_low/high (AUF-02 Hydraulischer Abgleich)
- Begründung: Der berichtete Bereich weicht um 44% (Untergrenze) bzw. 51% (Obergrenze) vom kanonischen Wert für exakt diesen Referenten ab. Die im Bericht genannten 5.600–9.500 kWh/a entsprechen stattdessen fast exakt dem kanonischen Wert savings_auf01 ('AUF-01 WP1/2 Lead-Lag-Regelstrategie', Hu et al. 2026, 10–17%). Es scheint eine Vertauschung vorzuliegen: Die Kaskadenlogik/Lead-Lag-Zahlen wurden fälschlich dem hydraulischen Abgleich zugeschrieben, während Abschnitt 6 für die WP-Kaskadenlogik explizit 'keine belastbare Spanne' angibt – obwohl dafür ein kanonischer Wert existiert. Dies ist eine kundenwirksame Falschzuordnung einer Kernkennzahl der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

2. Summe des Einsparpotenzials der drei quantifizierten Maßnahmen (hydraulischer Abgleich + Pufferspeicher + Heizkurve), kWh/Jahr

- Art: contradiction
- Behauptung: **29.000–64.000 kWh/Jahr** – Abschnitt 6, Titel und erster Fließtext-Absatz
- Behauptung: **28.450–54.400 kWh/Jahr (Summe der explizit im selben Abschnitt genannten Einzelbereiche: 5.600–9.500 + 19.000–38.500 + 3.850–6.400)** – Abschnitt 6, Einzelmaßnahmen-Absätze + Tabelle
- Begründung: Die im Abschnittstitel und Eingangssatz genannte Gesamtsumme (bis 64.000 kWh/Jahr) übersteigt die Summe der drei im selben Abschnitt explizit gegebenen Einzelspannen (bis 54.400 kWh/Jahr) um 17,6% – deutlich über der Rundungstoleranz. Die Untergrenze (29.000 vs. 28.450, 1,9%) ist noch plausibel, die Obergrenze nicht. Diese Kopfzahl ist die prominenteste Zahl des gesamten Abschnitts 6 und für den Kunden nicht nachvollziehbar reproduzierbar.

3. Dauer des dichten Messfensters, das der Jahreshochrechnung (128.389 kWh/a) zugrunde liegt

- Art: contradiction
- Behauptung: **~183 Tage (Ende Dezember 2025 bis Anfang Juli 2026, '~6-Monats-Fenster')** – Abschnitt 2 (Fließtext, DQ-Boxen) und Abschnitt 4 (Fließtext)
- Behauptung: **8.053 Tage** – Plot section_06_figure_1, Legendentext 'Gemessen (Messfenster, 8053 Tage)'
- Begründung: Die Legende der zentralen Hochrechnungs-Grafik in Abschnitt 4 beziffert das zugrunde liegende Messfenster mit 8.053 Tagen (≈22 Jahre) – ein Faktor 44 über dem im übrigen Bericht durchgängig verwendeten ~183-Tage-Fenster. Die x-Achse derselben Grafik zeigt zudem nur Werte bis 375 Tage, was der Legendenangabe selbst

widerspricht. Für einen Kunden, der die Grundlage der 128.389-kWh/a-Hochrechnung nachvollziehen will, ist diese Diskrepanz irreführend.

Messkonfiguration – Hinweis zu ungeklärten Kanälen

Für 48 von 138 Messkanälen ließ sich die Sensor-Position aus Daten und Kontextdokumenten nicht eindeutig bestimmen. Diese Kanäle wurden ausgewertet, aber **nicht fest verortet** (Zuordnung unsicher):

- quelle_stromnetz___Elektr_Zaehlerstand_OBIS_G01 ,
quelle_stromnetz___Elektr_Zaehlerstand_OBIS_P01 ,
buero_eg___Waermemenge_BesprechungBuero_kumulativ ,
buero_eg___Waermeverbrauch_Buero_Besprechung , buero_eg___Waermemenge_Buero_kumulativ ,
buero_eg___Waermeverbrauch_Buero_Besprechung ,
buero_eg___Waermemenge_BueroBesprechung_kumulativ , unmapped___CAN_Bus_Overflow_Diagnose ,
e_heizstab___Ansteuersignal , e_heizstab___Waermeverbrauch ,
pufferspeicher___Waermeenergie_Gesamt_kumulativ , wp3___Waermeenergie_kumulativ ,
pufferspeicher___Summenkanal_Gesamte_Anlage , pufferspeicher___Gesamt_kumulativ ,
wohnung_altbau___Waermemenge_HZG_EG_0G_kumulativ ,
wohnung_altbau___Waermemenge_Hzkg_EG_0G_kumulativ ,
wohnung_altbau___Waermeverbrauch_Hzkg_EG_0G ,
schwimmhalle___Waermemenge_Lager_SBad_kumulativ , unmapped___Ping_LAN_Fehler_Diagnose ,
buero_eg___Raumtemperatur_Schulung_Besprechung ,
lager_hallenbereich___Waermemenge_Turnsaal_kumulativ ,
lager_hallenbereich___Waermeverbrauch_Turnsaal , unmapped___Uhrzeitaenderung_Diagnose ,
unmapped___Generischer_Verbrauchskanal , wohnung_altbau___Waermemenge_WDH_EG_kumulativ ,
wohnung_altbau___Waermemenge_WH_EG_kumulativ , wohnung_altbau___Waermeverbrauch_WH_EG ,
wp1___Waermemenge_kumulativ , wp1___Zaehlerstand_kumulativ ,
wp1___Verbrauch_Periodendifferenz , wp2___Waermemenge_kumulativ ,
wp2___Zaehlerstand_kumulativ , wp2___Verbrauch_Periodendifferenz ,
wp3___Waermemenge_WW_kumulativ , wp3___Waermeverbrauch_WW ,
wp3___Waermemenge_WW_Hzg_kumulativ , wp3___Waermemenge_WW_Hzg_Gesamt_kumulativ ,
wp3___Waermeverbrauch_WW_Hzg , wp3___WW_Messwert_unklar ,
wp3___Waermemenge_WW_Hzg_Gesamt_kumulativ , ww_speicher___Waermemenge_kumulativ ,
ww_speicher___Waermeverbrauch , ww_speicher___Waermemenge_kumulativ_Alt ,
ww_speicher___Waermeverbrauch_Alt , wohnung_altbau___Waermemenge_Wohnung_kumulativ ,
wohnung_altbau___Waermeverbrauch_Wohnung , unmapped___Zeitkorrektur_Diagnose ,
unmapped___Generischer_Zaehlerstand

Nicht geklärte Interpretation einzelner Messgrößen

Für die folgende(n) Messgröße(n) ließ sich aus den vorliegenden Daten nicht eindeutig bestimmen, welche physikalische Größe der Kanal erfasst. Der Kanal bleibt im Datensatz erhalten, fließt aber in

keine Berechnung dieses Berichts ein, solange die Interpretation offen ist – die Bilanz bleibt davon unberührt.

- **stromverbraucher_gebaeude___Stromverbrauch_Firma**, **stromverbraucher_gebaeude___Stromverbrauch_Stapler**, **stromverbraucher_gebaeude___Stromverbrauch_Privat**, **stromverbraucher_gebaeude___Stromverbrauch_Senior**, **stromverbraucher_gebaeude___Stromverbrauch_Halle**, **quelle_stromnetz___OBIS_G01**, **quelle_stromnetz___OBIS_P01** – Ist die Einheit kWh für die elektrischen Verbrauchszähler gesichert, oder ist sie nur aus der 'Zaehlerstand'-Namenskonvention und der Größenordnung (200–500.000) abgeleitet und damit interpretationsbedürftig?
 - mögliche Deutung: Einheit kWh gesichert
 - mögliche Deutung: Einheit nur abgeleitet, nicht im Schema explizit
 - *Zur Klärung nötig:* Eine Formel, die diese Zähler tatsächlich verarbeitet (z.B. Zaehlerstand-Delta über einen bekannten Zeitraum) und deren Ergebnis gegen eine unabhängige kWh-Referenz (Rechnung, Zählerablesung) geprüft wird.
- **unmapped___Gaszaehlerstand**, **unmapped___Gasverbrauch_Wien**, **unmapped___Gaszaehlerstand_Top14A**, **unmapped___Wasserzaehlerstand_kumulativ**, **unmapped___Wasserverbrauch_kumulativ**, **unmapped___Wasserzaehlerstand_Halle**, **unmapped___Wasserverbrauch_Halle** – Ist die angenommene Einheit m³ für Gas-/Wasserzählerkanäle korrekt, oder muss die tatsächliche Einheit anderweitig verifiziert werden, da sie im Schema nicht explizit angegeben ist?
 - mögliche Deutung: Einheit m³ plausibel
 - mögliche Deutung: Einheit unsicher / nicht bestätigt
 - *Zur Klärung nötig:* Eine Formel/Validierung, die Zählerstand-Deltas dieser Kanäle gegen bekannte Verbrauchsgrößenordnungen (z.B. dokumentierte Jahresrechnungen) prüft.
- **wp3___WW_Messwert_unklar** – Welche physikalische Größe und Einheit repräsentiert der Kanal 'WW_Messwert_unklar', und ist die Zuordnung zum Warmwasserkreis (WW) von WP3 korrekt?
 - mögliche Deutung: Messwert zum Warmwasserkreis (WW) von WP3 gehörig
 - mögliche Deutung: Einheit/Zuordnung nicht rekonstruierbar
 - *Zur Klärung nötig:* Anlagendokumentation (P&ID/BMS-Punktliste) oder eine explorative Formel, die den Kanal gegen bekannte WP3-Warmwassergrößen (z.B. CALC013, CALC020) korreliert.
- **unmapped___Generischer_Verbrauchskanal**, **unmapped___Generischer_Zaehlerstand** – Welche Verbrauchsart (Strom, Wärme, Gas, Wasser o.ä.) und Einheit bilden die Kanäle 'Generischer_Verbrauchskanal' und 'Generischer_Zaehlerstand' ab?
 - mögliche Deutung: Generischer Sammelkanal für nicht spezifisch zugeordneten Verbrauch
 - mögliche Deutung: Einheit/Zuordnung nicht rekonstruierbar
 - *Zur Klärung nötig:* Anlagendokumentation/BMS-Punktliste zur Identifikation der Zählerart, oder eine Korrelationsanalyse gegen bekannte Verbrauchsprofile (Strom/Wärme/Gas/Wasser).
- **solarthermie___Solarpumpe_PWM** – Beruht die Überschreitung des erwarteten PWM-Bereichs [0,100 %] (Werte bis 851,7) auf einem reinen Skalierungsfehler (Faktor) oder auf einem grundsätzlichen Einheitenfehler (z. B. Rohsignal statt Prozentwert)?

- mögliche Deutung: Skalierungsfehler (Faktor falsch)
- mögliche Deutung: Einheitenfehler (Kanal liefert kein Prozentsignal)
- *Zur Klärung nötig:* Eine Formel, die PWM gegen ein unabhängiges Aktivitätssignal (z.B. CALC021 Solar-Übertemperatur-Proxy) korreliert, um einen konstanten Skalierungsfaktor zu bestimmen oder auszuschließen.

- unmapped___Zaehlerstand_Elektro_Wien , unmapped___Stromverbrauch_Wien , unmapped___Gaszaehlerstand_Wien , unmapped___Gasverbrauch_Wien , unmapped___Gaszaehlerstand_Top14A – Beziehen sich die mit 'Wien' benannten Zähler-/Verbrauchskanäle tatsächlich auf einen anderen Standort (nicht Sarningstein), oder ist die Namenszuordnung fehlerhaft und die Kanäle gehören zum untersuchten Objekt?

- mögliche Deutung: Anderer Standort (Wien), nicht Teil des Objekts Sarningstein
- mögliche Deutung: Zuordnung könnte auf Namenskonvention beruhen und nicht zwingend Standort-korrekt sein
- *Zur Klärung nötig:* Standortmetadaten/Vertragsunterlagen zur Zähleradresse, oder eine Korrelationsprüfung dieser Kanäle gegen Sarningstein-spezifische Zeitreihen (z.B. Belegungsmuster, Heizperiode).