

SüdSan

Sozialverträgliche und klimazielfunkpatible Sanierung von
zwei Mehrfamilienhäusern als Modell für die Sanierung
der Südtiroler-Siedlung Bludenz

Themendokumentation

**Monitoring der Mustergebäude
im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung**

Das Projekt SüdSan wird im Rahmen der 8. Ausschreibung des Programms „Stadt der Zukunft“ gefördert. „Stadt der Zukunft“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMK von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH (AWS) und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt. Das Projekt erhält darüber hinaus eine Förderung des Landes Vorarlberg.

Monitoring der Mustergebäude im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung

Bludenz, St. Antoniusstraße 12 a und 19

Waldemar Wagner (AEE INTEC)
Tobias Hatt (Energieinstitut Vorarlberg)
Martin Ploss (Energieinstitut Vorarlberg)
Stephen Kalthäuer (Planungsteam E-Plus)

Gleisdorf, Dornbirn, Juni 2026

AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)
8200 Gleisdorf, Feldgasse 19, Austria

Herausgeber:
Energieinstitut Vorarlberg, Fachbereich Bauen und Sanieren
CAMPUS V, Stadtstraße 33
6850 Dornbirn, Österreich
Tel. +43 (0)5572 / 31 202-0
info@energieinstitut.at

INHALT

Einleitung	4
Zusammenfassung	5
Monitoringergebnisse des großen Gebäudes im zweiten Betriebsjahr	5
Monitoringergebnisse des kleinen Gebäudes im zweiten Betriebsjahr	12
1 Messzeitraum und Datenausfälle	18
2 Wetterdaten	18
2.1 Außenlufttemperatur	18
2.2 Solarstrahlung	22
3 Ergebnisse großes Gebäude (St. Antonius-Straße 12a)	25
3.1 Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumlufthqualität	25
3.2 Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme	47
3.3 Optimierung der Haustechniksysteme im Betrieb	76
4 Ergebnisse kleines Gebäude (St. Antonius-Straße 19)	88
4.1 Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumlufthqualität	88
4.2 Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme	100
4.3 Optimierung der Haustechniksysteme im Betrieb	116
Abbildungsverzeichnis	121
Tabellenverzeichnis	126
Literaturverzeichnis	127
Abkürzungsverzeichnis	128

Einleitung

Im Projekt *SüdSan* wurden zwei für die Südtirolersiedlung Bludenz repräsentative Mehrfamilienhäuser unterschiedlicher Größe energetisch und ökologisch hochwertig saniert. Die Realisierungsvarianten beider Gebäude wurden aus zahlreichen Varianten mit unterschiedlichen Hüllqualitäten, Lüftungs-, Wärmeversorgungs- und Solarkonzepten ausgewählt. Diese Varianten wurden detailliert geplant, modular ausgeschrieben und hinsichtlich Ihres Energiebedarfs, ihrer CO₂-Emissionen im Betrieb und über den gesamten Lebenszyklus sowie ihrer Errichtungs- und Lebenszykluskosten bewertet.

Die Projektziele, Inhalte und Methodik sowie die Planungs- und Realisierungsphase der Gebäude einschließlich der Kostenauswertungen sind im Zwischenbericht dokumentiert (Ploss, 2025). Das Gebäude-, Energie- und Monitoringkonzept sowie die Ergebnisse des ersten Betriebsjahres nach der Sanierung wurden in einem weiteren Bericht dargestellt (Wagner, 2025).

Der vorliegende Bericht ergänzt den ersten Monitoringbericht um die Ergebnisse des zweiten Betriebsjahres nach der Sanierung und umfasst den Zeitraum vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026.

Zusammenfassung

Monitoringergebnisse des großen Gebäudes im zweiten Betriebsjahr

Abbildung 1 zeigt den auf die Wohnnutzfläche bezogenen spezifischen Endenergieverbrauch des großen Gebäudes (St. Antoniusstraße 12a) vor und nach der Sanierung.

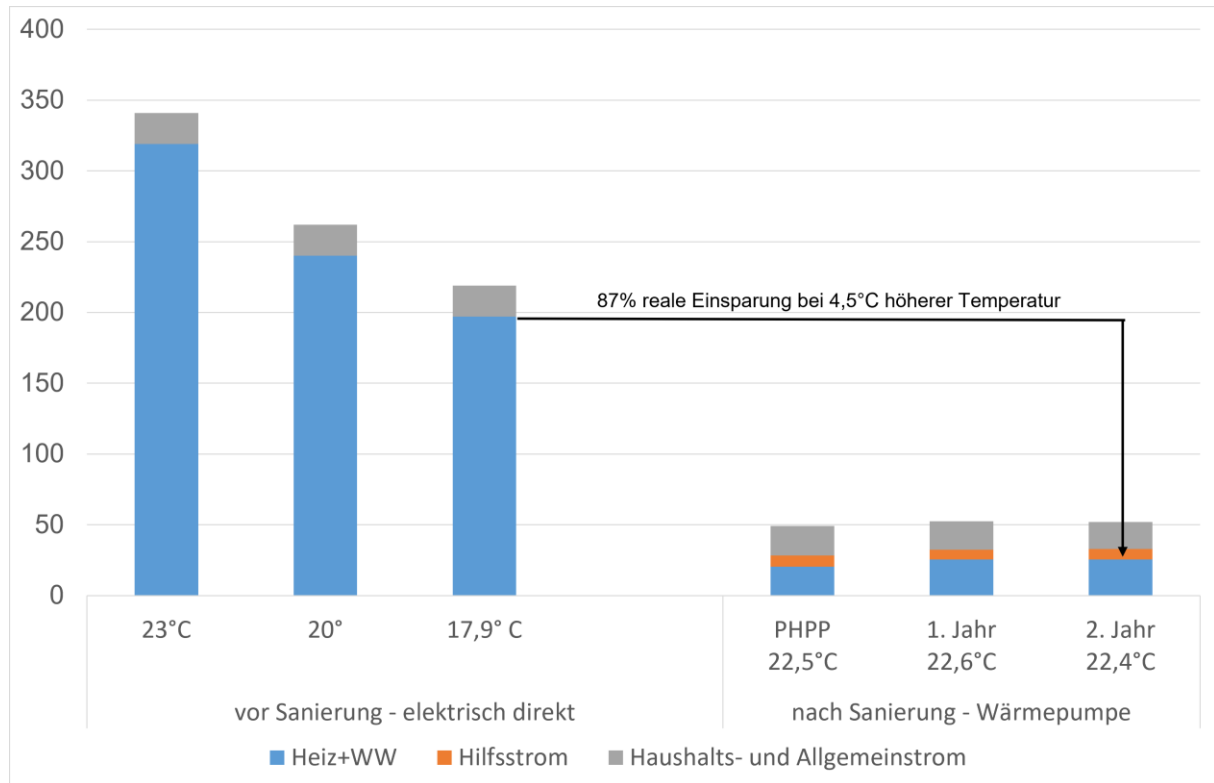


Abbildung 1: spezifischer Endenergieverbrauch Haus 12a vor der Sanierung und in den ersten beiden Betriebsjahren nach der Sanierung nach Anwendungen in kWh/(m²_{WNFA})

Wie Abbildung 1 verdeutlicht, liegt der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung mit 25,4 kWh/(m²_{WNFA}) um 87% unter dem Wert, den das unsanierte Gebäude bei der vor der Sanierung gemessenen mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur von 17,9 °C und direktelektrischer Beheizung gehabt hätte. Diese deutliche Reduktion wurde erzielt, obwohl die mittlere Raumlufttemperatur während der zweiten Heizperiode nach der Sanierung mit 22,4 °C um 4,5 °C höher lag als vor der Sanierung. Die mittlere Außenlufttemperatur in der zweiten Heizperiode entsprach annähernd dem langjährigen Mittel.

Der Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen beträgt im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung 52,1 kWh/(m²_{WNFA}) und liegt damit um 76% unter dem Wert vor der Sanierung von 219 kWh/(m²_{WNFA})¹.

Die gemessenen Energieverbräuche der beiden ersten Betriebsjahre nach der Sanierung stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen überein.

Abbildung 2 zeigt die Monatswerte des Endenergieverbrauchs im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung differenziert nach Energieanwendung sowie die Werte des PV-Ertrags.

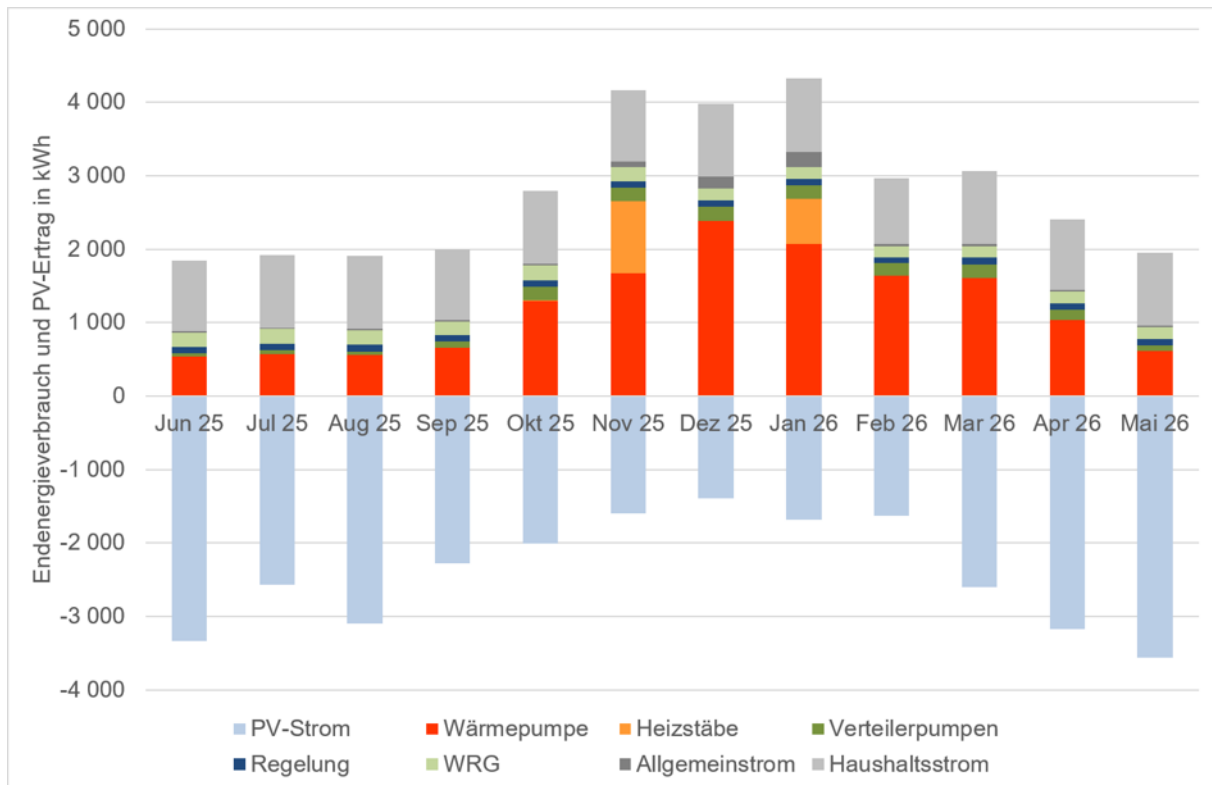


Abbildung 2: Endenergieverbrauch im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendung sowie PV-Ertrag; Haus 12a; Monatswerte

Der flächenspezifische Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung (Wärmepumpe und Heizstab) betrug im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung 25,4 kWh/(m²_{WNFA}), der gesamte Endenergieverbrauch der Haustechnik 32,8 kWh/(m²_{WNFA}). Damit zählt das Gebäude zu den effizientesten sanierten Mehrfamilienhäusern in Österreich.

Der flächenspezifische Jahresertrag der Photovoltaikanlage beträgt 45,2 kWh/(m²_{WNFA}). Er liegt damit deutlich über dem gesamten Endenergieverbrauch der Haustechnik, jedoch unter dem Gesamt-Endenergieverbrauch des Gebäudes von 52,1 kWh/(m²_{WNFA}).

¹ Spezifische Energiekennwerte werden in diesem Bericht – wenn nicht anders angegeben - wie in Energiekostenabrechnungen auf den m² Wohnnutzfläche (WNF) und nicht wie im Energieausweis auf die BGF bezogen. Bei Bezug auf die BGF ergeben sich für beide Gebäude um etwa 30% niedrigere flächenspezifische Werte.

Die Jahreswerte des Endenergieverbrauchs und der PV-Erzeugung stimmen nahezu mit jenen des ersten Betriebsjahres nach der Sanierung überein. Die Monatswerte unterscheiden sich dagegen witterungsbedingt.

In den Monaten Juni bis September 2025 sowie April und Mai 2026 überstieg der monatliche PV-Ertrag den Endenergieverbrauch über alle Anwendungen.

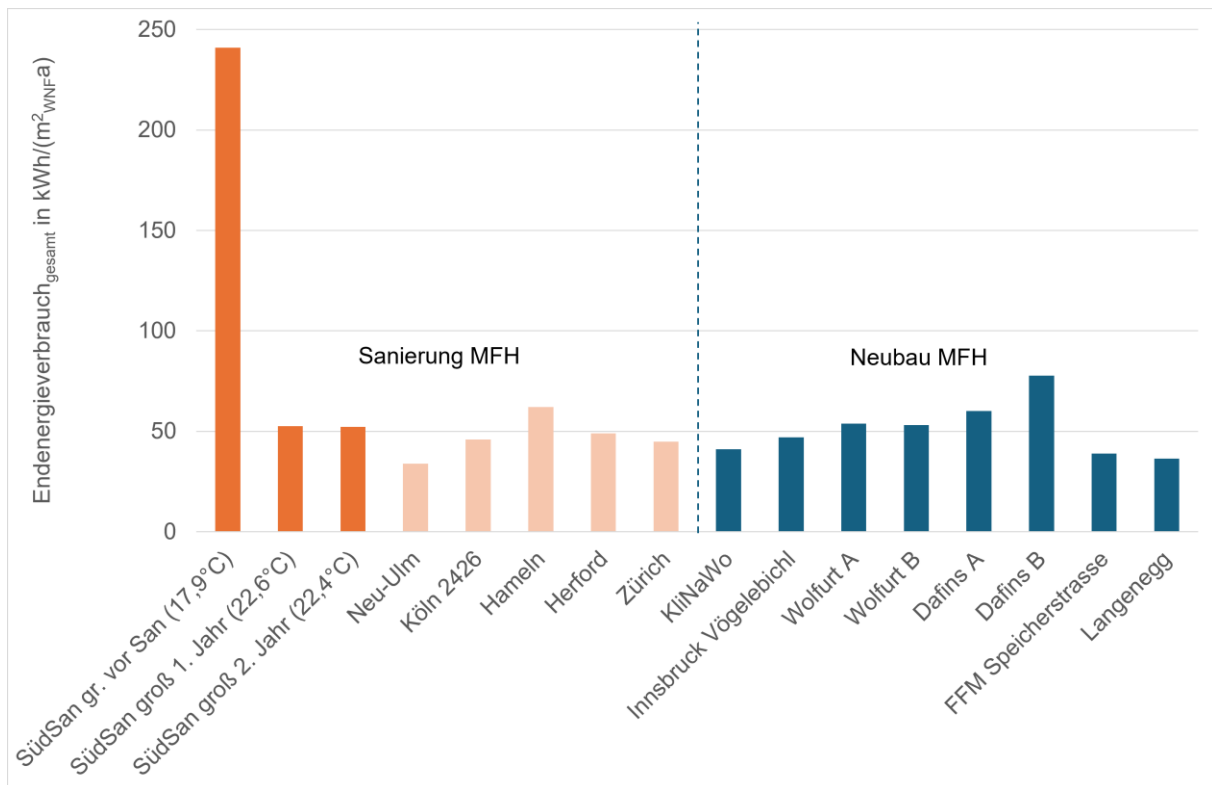


Abbildung 3: spezifischer Endenergieverbrauch_{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}) (Ploss, 2022), (Ploss, 2024)

Der spezifische Endenergieverbrauch des großen Gebäudes in Summe aller Anwendungen, d.h. einschließlich Haushalts- und Allgemeinstrom, beträgt im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung 52,1 kWh/(m²_{WNFA}) und liegt damit geringfügig unter dem Wert des ersten Betriebsjahres.

Der Endenergieverbrauch bewegt sich damit im Bereich der besten dokumentierten Mehrfamilienhaussanierungen im deutschsprachigen Raum, deren Werte zwischen etwa 46 und 62 kWh/(m²_{WNFA}) liegen. Das Sanierungsprojekt in Neu-Ulm erreicht mit rund 34 kWh/(m²_{WNFA}) einen nochmals niedrigeren Wert. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass alle Wohnungen nach der Sanierung mit hocheffizienten Haushaltsgeräten ausgestattet wurden. Die Endenergieverbräuche der besten Sanierungen liegen damit nur unwesentlich über jenen der effizientesten Mehrfamilienhausneubauten, die – mit einer Ausnahme – Werte zwischen 36 bis 60 kWh/m²_{WNFA}) aufweisen.

Grundlage für die sehr niedrigen Energieverbräuche des großen Gebäudes ist die hochwertige Gebäudehülle. Der gemessene Luftdichtheitswert n_{50} von $0,6 \text{ h}^{-1}$ erfüllt die Anforderungen an Passivhaus-Neubauten. Trotz einer mittleren Raumlufttemperatur von $22,4 \text{ °C}$ während der zweiten Heizperiode nach der Sanierung beträgt der spezifische Heizwärmeverbrauch lediglich $29,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und ist damit sehr niedrig.

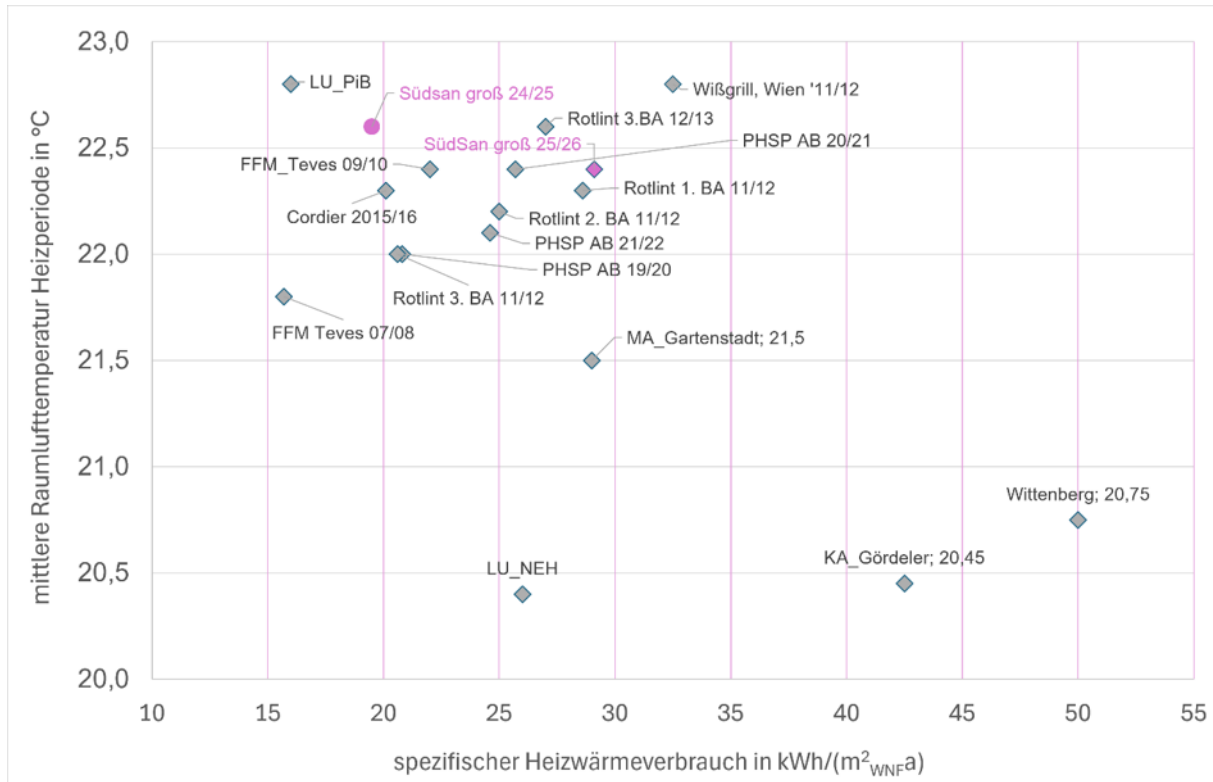


Abbildung 4: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen (Großklos, 2023), bereinigt um Neubauprojekte und ergänzt um das große Gebäude im Projekt (SüdSan groß) im ersten und zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung.

Das große Gebäude im Projekt SüdSan gehört mit Messwerten des Heizwärmeverbrauchs von $19,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ im ersten und $29,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung zu den effizientesten Mehrfamilienhaus-Sanierungen im deutschsprachigen Raum. Der Heizwärmeverbrauch im ersten Betriebsjahr lag deutlich unter dem in der PHPP-Verbrauchsprognose berechneten Wert, da ein Teil der Temperierung der Wohnungen durch die hohen Wärmeverluste der Warmwasserverteilung erfolgte. Im zweiten Betriebsjahr konnten diese Verteilverluste reduziert werden, wodurch der gemessene Heizwärmeverbrauch sehr gut mit dem prognostizierten Wert übereinstimmt.

Der Nutzwärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung beträgt $10,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und ist als sehr niedrig einzustufen. Dieses Ergebnis ist jedoch auch vor dem Hintergrund der vergleichs-

weise geringen durchschnittlichen Bewohnerzahl von 12 Personen zu betrachten. Auch der personenspezifische Warmwasserverbrauch liegt mit 25,6 Litern pro Person und Tag – bezogen auf 60 °C warmes Wasser – auf einem niedrigen Niveau.

Die Verteilverluste der Brauchwasserbereitung werden hingegen maßgeblich durch die Länge der Verteilleitungen, die Ausführungsqualität der Installation – insbesondere hinsichtlich Dämmung und Rohrdimensionierung – sowie durch die regelungstechnischen Einstellungen beeinflusst. Letztere sind entscheidend dafür, dass nur die tatsächlich erforderlichen Wassermengen mit den notwendigen Temperaturen für die Brauchwasserbereitung bereitgestellt werden. Im zweiten Messjahr betrugen die Verteilverluste der Brauchwasserbereitung 18,2 kWh/(m²_{WNFA}). Durch die Einregulierungsmaßnahmen konnten diese auf den aktuellen Wert von 14,0 kWh/(m²_{WNFA}) reduziert werden.

Während vor der Sanierung rund drei Viertel der Mieterinnen und Mieter die Raumlufttemperaturen im Winter als zu niedrig empfanden, liegen die Temperaturen nach der Sanierung auch während Kälteperioden im behaglichen Bereich. Abbildung 5 veranschaulicht dies anhand des Temperaturverlaufs in der kältesten Winterwoche des zweiten Betriebsjahres nach der Sanierung.

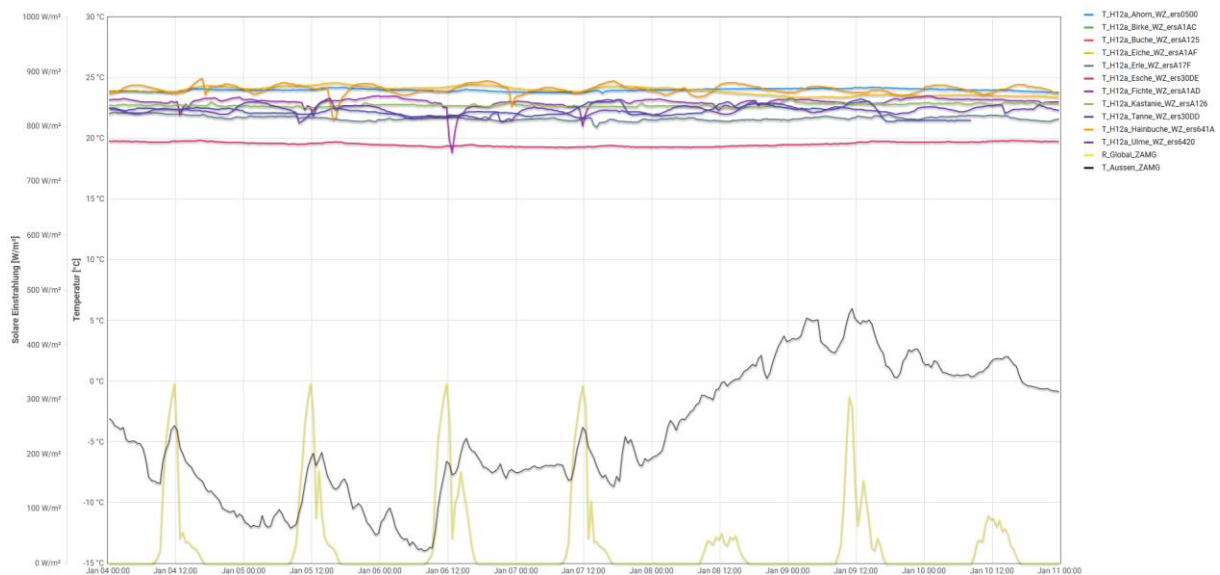


Abbildung 5: Haus 12a, Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer - kälteste Winterwoche im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Die mittleren Raumlufttemperaturen in acht der neun Wohnungen lagen während der kältesten Winterwoche zwischen 21,7 und 24,0 °C und damit über dem in der Regelung hinterlegten Sollwert von 21°C +/- 3K. Lediglich im Wohnzimmer der Wohnung *Esche* wurde mit 19,5 °C

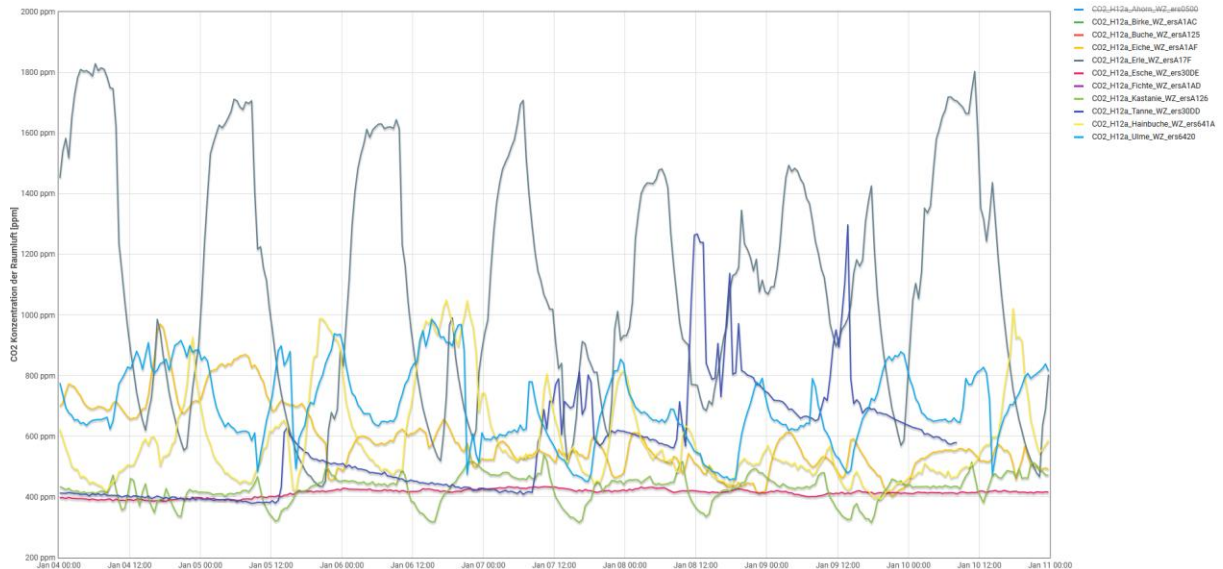


Abbildung 7: Haus 12a, CO₂-Konzentration der Raumluft im Wohnzimmer - kälteste Winterwoche im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Das Monitoring zeigt auch nach einer leichten Reduktion des Luftvolumenstroms der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung Anfang Dezember 2025 eine sehr gute Qualität der Raumluft: Der CO₂-Gehalt liegt in fünf der sieben Wohnungen mit dauerhaft verfügbaren Messdaten während der kältesten Winterwoche in einem Band zwischen etwa 450 und 1.000 ppm. In einer Wohnung werden kurzzeitige Spitzen von bis zu 1.250 ppm erreicht, in einer weiteren einmalig etwa 1.000 ppm. In einer Wohnung liegen die Tageshöchstwerte in der kältesten Winterwoche meist im Bereich zwischen 1.500 und 1.800 ppm.

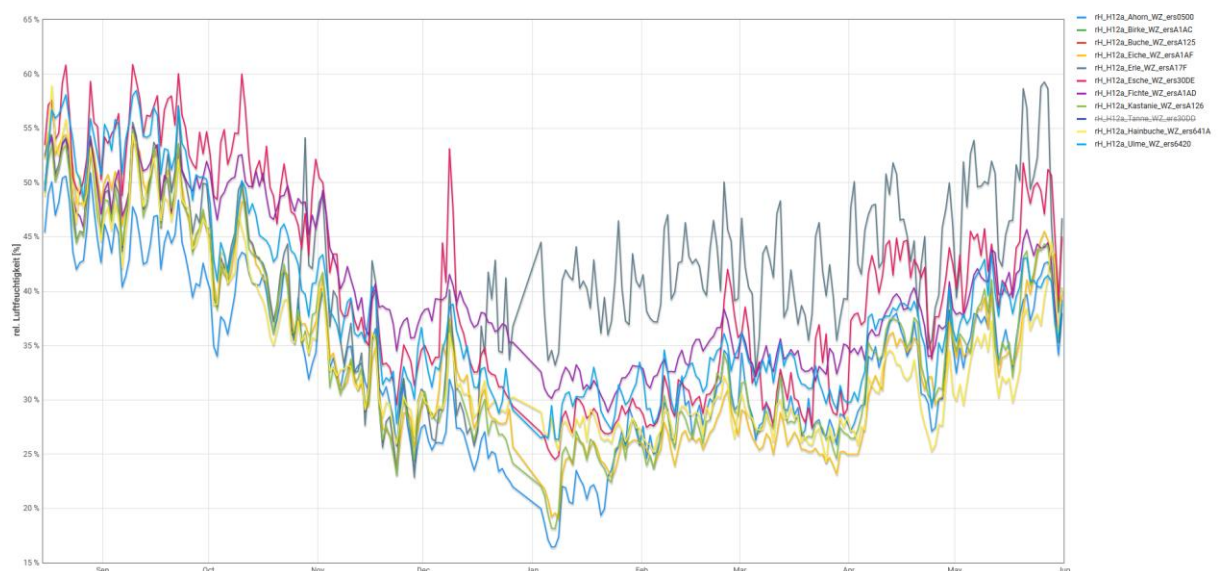


Abbildung 8: Haus 12a, Raumluftfeuchtigkeit im Wohnzimmer - zweites Betriebsjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Die relative Feuchte liegt in den Sommermonaten überwiegend im Bereich zwischen 30% und 55%. Werte über 60% treten nur vereinzelt auf. In den Wintermonaten unterschreitet die relative Luftfeuchte nach der Sanierung hingegen – insbesondere an sehr kalten Tagen – häufiger den Wert von 30 %. Dies ist auf die vergleichsweise hohen Raumlufthtemperaturen im Winter sowie auf den kontinuierlichen Luftwechsel über die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung ohne Enthalpietauscher zurückzuführen.

Monitoringergebnisse des kleinen Gebäudes im zweiten Betriebsjahr

Abbildung 9 zeigt den spezifischen, auf die Wohnnutzfläche bezogenen Endenergieverbrauch des kleinen Gebäudes (St. Antoniusstraße 19) vor Sanierung und im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung.

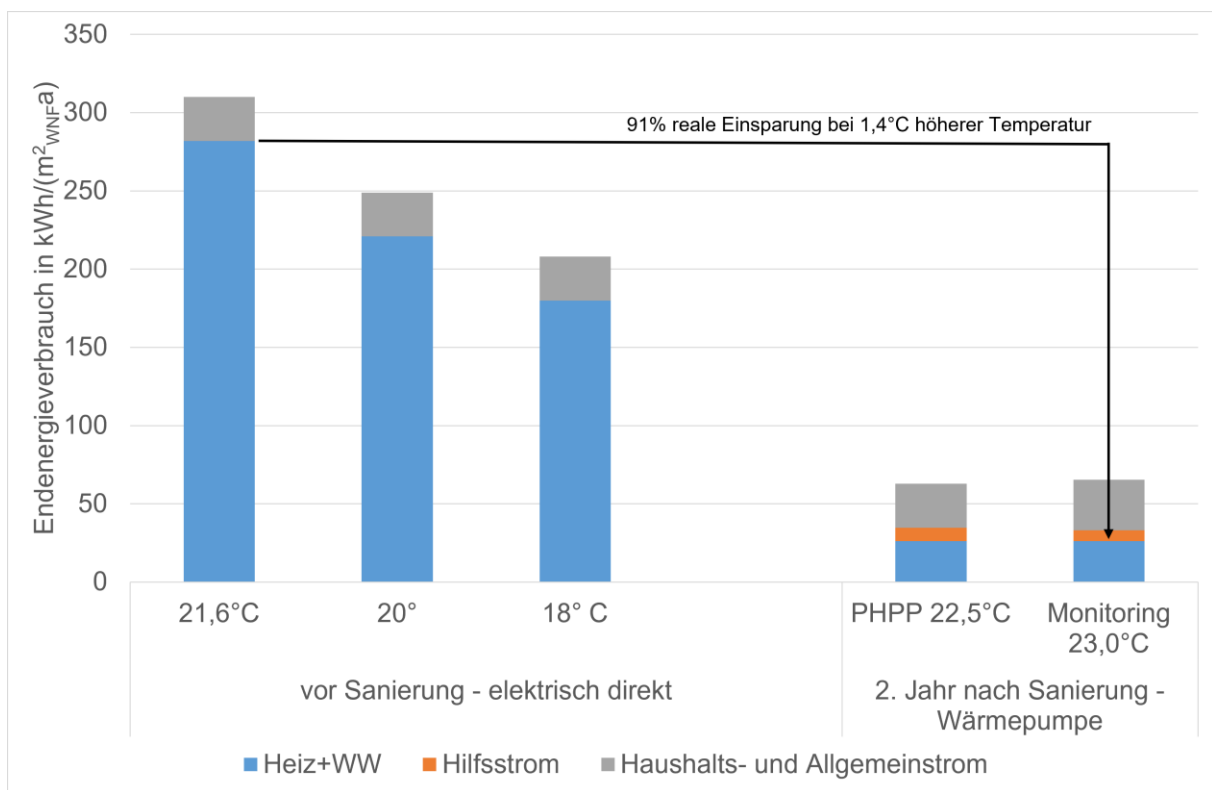


Abbildung 9: spezifischer Endenergieverbrauch Haus 19 vor Sanierung und im zweiten Jahr nach der Sanierung nach Anwendungen in kWh/(m²_{WNFA})

Der spezifische Endenergieverbrauch des kleinen Gebäudes für Heizung und Warmwasser im zweiten Betriebsjahr lag mit 26,1 kWh/(m²_{WNFA}) um 91% unter dem Wert des unsanierten Gebäudes bei der vor Sanierung gemessenen Heizperioden-Mitteltemperatur von 21,6 °C und direktelektrischer Beheizung. Die Einsparung wurde erzielt, obwohl die mittlere Raumlufthtemperatur während der zweiten Heizperiode nach der Sanierung mit 23,0 °C um 1,4 °C höher lag als vor der Sanierung. Die mittlere Außenlufttemperatur in der Heizperiode entsprach in etwa dem langjährigen Mittel. Der gesamte Stromverbrauch für die Haustechnik betrug

33,1 kWh/(m²_{WNFa}). Der Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen liegt mit etwa 66,4 kWh/(m²_{WNFa}) um 79% unter dem Wert von 310 kWh/(m²_{WNFa}) vor der Sanierung².

Abbildung 10 zeigt die Monatswerte des Energieverbrauchs im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung differenziert nach Energieanwendung sowie die Werte des PV-Ertrags.

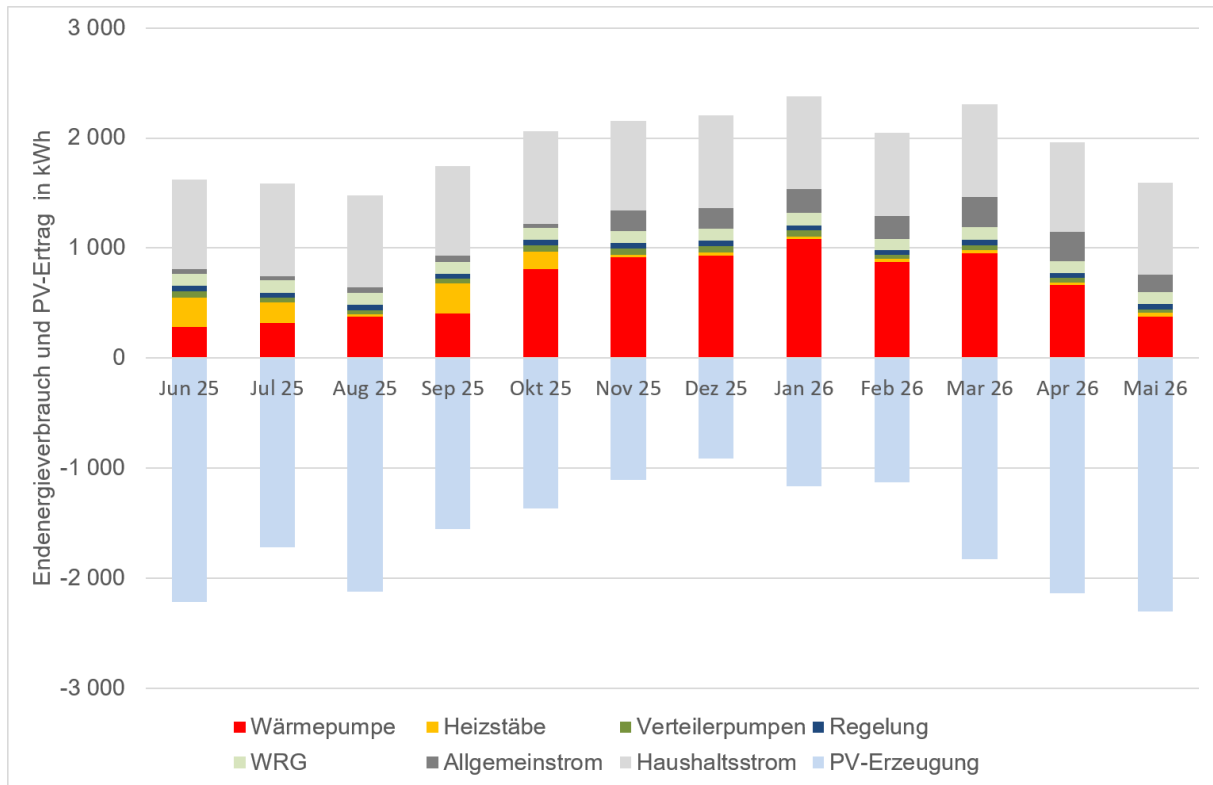


Abbildung 10: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung in kWh; Haus 19; Monatswerte

Der spezifische Stromverbrauch der Wärmepumpe liegt bei 22,9 kWh/(m²_{WNFa}). Zusätzlich trägt der Heizstab ca. 3,2 kWh/(m²_{WNFa}) zur Wärmebereitstellung bei. Der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser beträgt damit 26,1 kWh/(m²_{WNFa}). Dieser Wert entspricht exakt dem Wert der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung mit einer mittleren Raumlufttemperatur von 22,5°C.

Der spezifische Ertrag der PV-Anlage liegt bei 1.206 kWh/kW_p. Dies entspricht einem flächenspezifischen Jahresertrag von 56,1 kWh/(m²_{WNFa}). Der PV-Jahresertrag ist damit höher als

² Spezifische Energiekennwerte werden in diesem Bericht – wenn nicht anders spezifiziert - wie in Energiekostenabrechnungen auf den m² Wohnnutzfläche und nicht wie im Energieausweis auf die BGF bezogen. Bei Bezug auf die BGF ergeben sich für beide Gebäude um 30% niedrigere flächenspezifische Werte.

der gesamte Verbrauch der Haustechnik von $33,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, liegt jedoch unter dem Gesamt-Endenergieverbrauch von $66,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Die Monatswerte des PV-Ertrags liegen von Juni bis August 25 sowie im April und Mai 26 über dem Gesamt-Endenergieverbrauch.

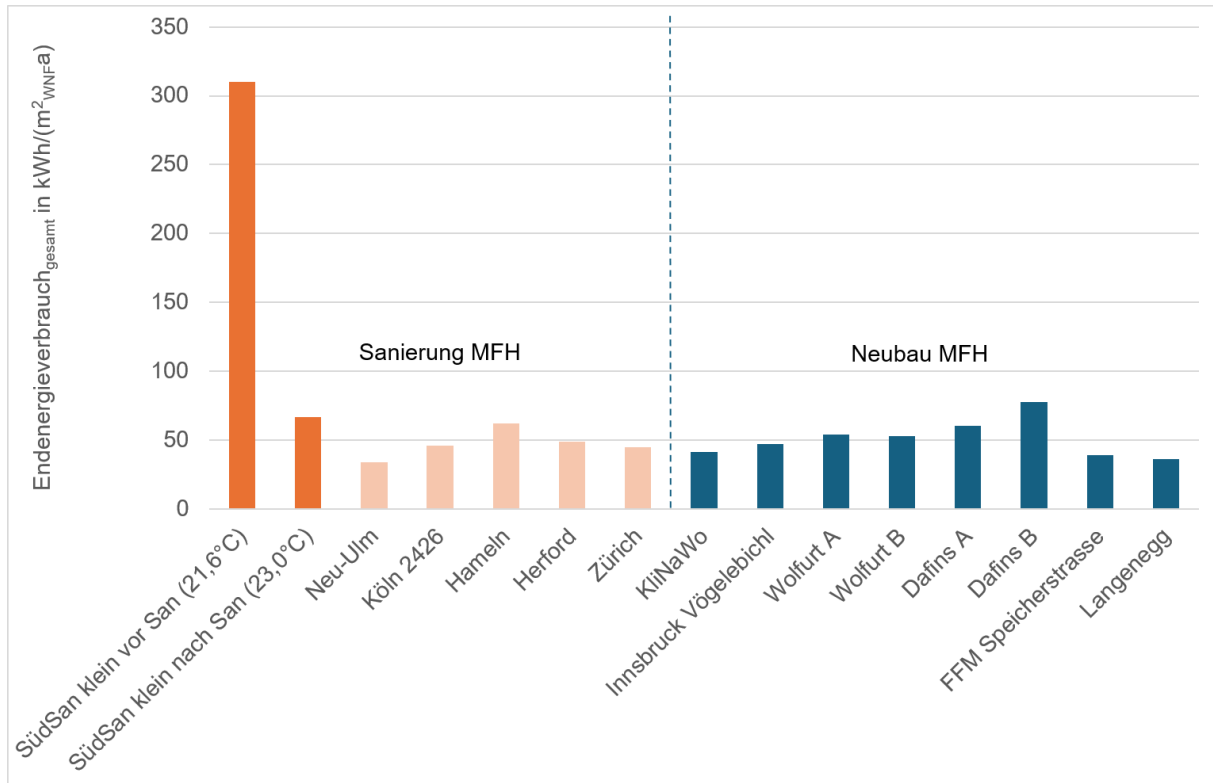


Abbildung 11: spezifischer Endenergieverbrauch_{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}); (Ploss, 2022), (Ploss, 2024)

Der spezifische Endenergieverbrauch des kleinen Gebäudes beträgt einschließlich Allgemein- und Hilfsstrom $66,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und liegt damit geringfügig über den Vergleichswerten der energieeffizientesten Mehrfamilienhaussanierungen. Hauptursache hierfür ist der vergleichsweise hohe Haushaltsstromverbrauch. Darüber hinaus handelt es sich um das kleinste Gebäude im Vergleich, wodurch infolge des ungünstigeren A/V-Verhältnisses auch der Heizwärmeverbrauch etwas höher ausfällt (siehe folgende Abbildung)..

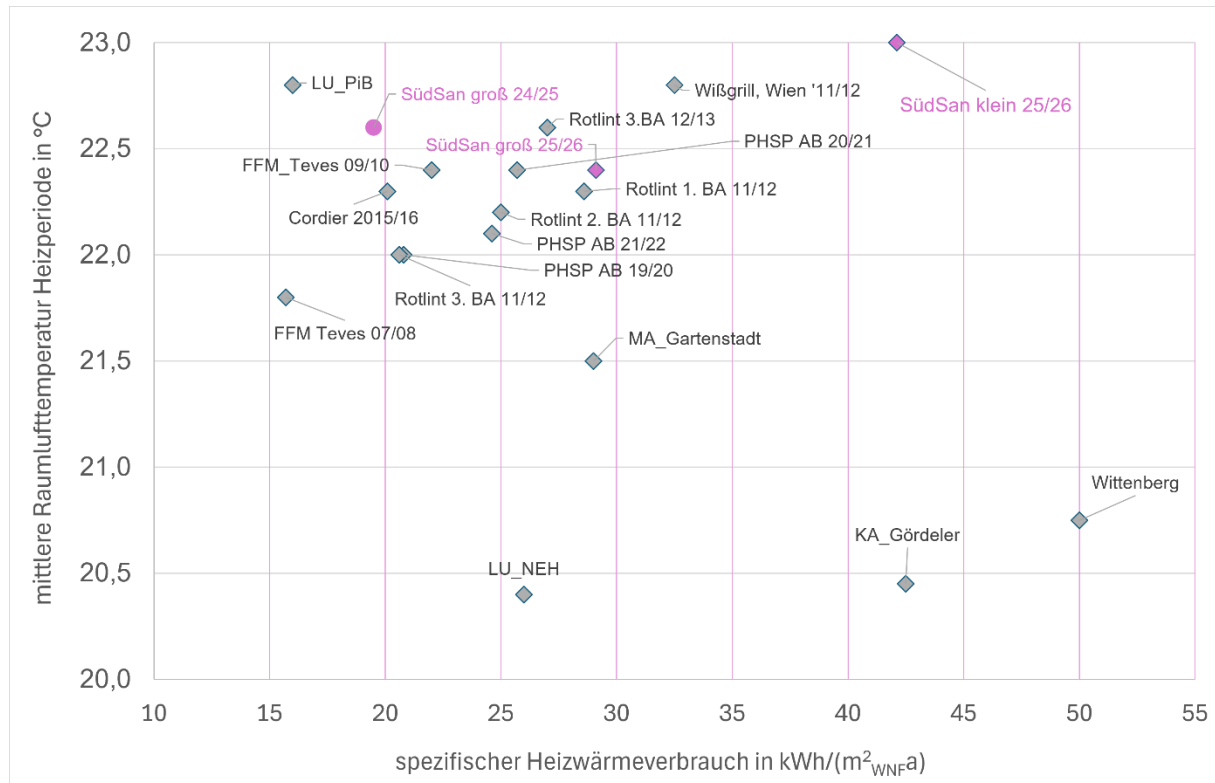


Abbildung 12: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), bereinigt um Neubausprojekte und ergänzt um das Projekte SüdSan groß im ersten und zweiten Betriebsjahr sowie das Projekt SüdSan klein im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung

Das kleine SüdSan-Gebäude erreicht mit einem spezifischen Heizwärmeverbrauch von 42,2 kWh/(m²_{WNFA}) trotz der sehr hohen mittleren Raumlufttemperatur während der Heizperiode von 23,0 °C einen sehr guten Wert. Der Heizwärmeverbrauch liegt zwar etwas über jenem des großen SüdSan-Gebäudes sowie der besten Mehrfamilienhaussanierungen im deutschsprachigen Raum, jedoch unter dem in der PHPP-Verbrauchsprognose berechneten Wert für eine mittlere Raumlufttemperatur von 22,5 °C.

Grund für den niedrigen Heizwärmeverbrauch ist insbesondere die sehr gute Ausführungsqualität der Gebäudehülle. Diese wird durch den im Luftdichtheitstest ermittelten hervorragenden n_{50} -Wert von 0,78 h⁻¹ bestätigt.

Der etwas höhere Heizwärmeverbrauch gegenüber dem großen SüdSan-Gebäude ist in erster Linie auf das ungünstigere A/V-Verhältnis des kleineren Gebäudes zurückzuführen. Dieses führt bei vergleichbaren U-Werten zu höheren Transmissionswärmeverlusten.

Der Nutzwärmeverbrauch des Gebäudes für die Warmwasserbereitung beträgt 9,9 kWh/(m²_{WNFA}) und ist insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Belegungsdichte als niedrig einzustufen.

Der gesamte Wärmeoutput aus Wärmepumpe und Heizstäben beträgt knapp 77,5 kWh/(m²_{WNFA}). Demgegenüber liegt die Summe der Nutzenergie für Heizung und Warmwasser bei 51,7 kWh/(m²_{WNFA}). Daraus ergibt sich eine Summe der Verteilverluste für Heizung und Warmwasser von 25,4 kWh/(m²_{WNFA}).

Da die Einregulierungsmaßnahmen erst im Juni 2026 umgesetzt wurden, lassen diese Verteilverluste noch keine abschließende Bewertung des optimierten Systembetriebs zu. Sie zeigen vielmehr, in welcher Größenordnung die Verluste auftreten, solange die Einregulierungsarbeiten noch nicht durchgeführt wurden.

Die folgende Abbildung zeigt die Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern der sechs Wohnungen für den Zeitraum von Juni 2025 bis Mai 2026 als Stundenmittelwerte. Der Stundenmittelwert über alle Wohnzimmer-Raumlufttemperaturen ist zusätzlich als gelbe Punktwolke dargestellt.

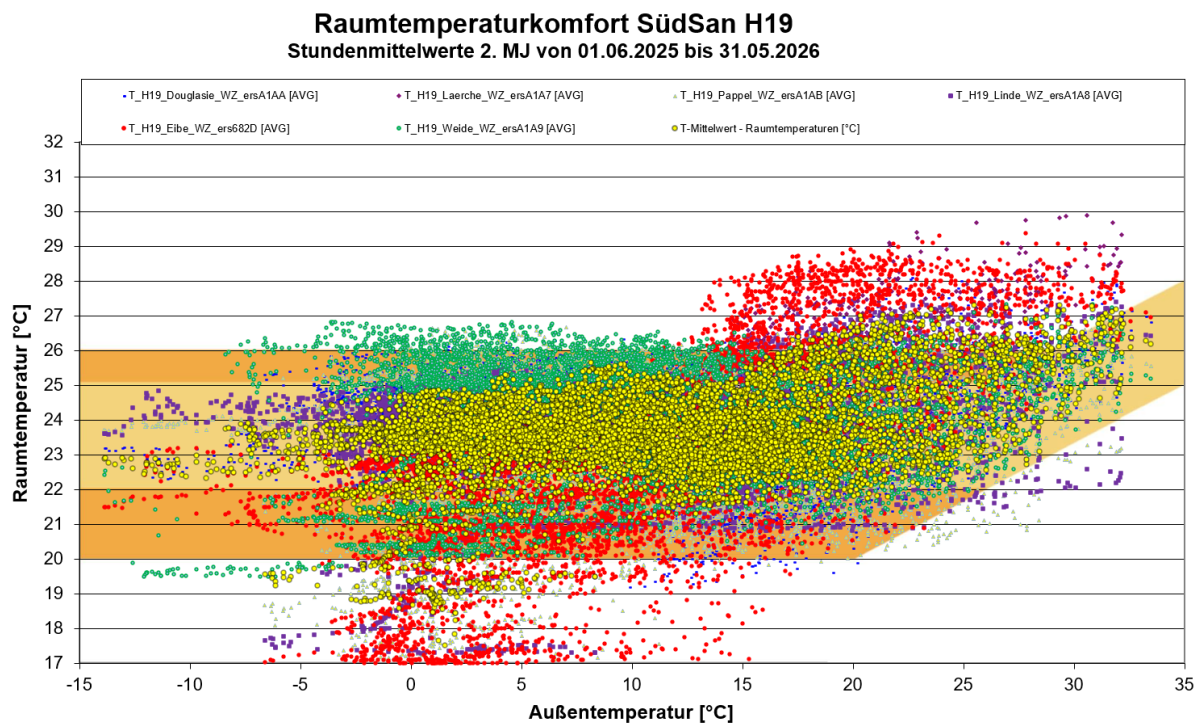


Abbildung 13: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, Juni 25 bis Mai 26, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Mit Ausnahme einer Wohnung zeigt sich ein homogenes Temperaturniveau mit geringen Schwankungen im Tages- und Jahresverlauf. Raumlufttemperaturen unter 20°C treten nur noch gewollt auf, wenn Bewohner auf Urlaub sind und die Heizung bewusst herunterregeln. Die CO₂-Konzentrationen in den Wohnzimmern liegen über den größten Teil des Jahres in einem Bereich von 420 bis 1.000 ppm. Die Raumluftqualität ist damit aufgrund des bedarfsgerecht ausgelegten Luftwechsels über die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung sehr gut.

Die Mittelwerte der relativen Luftfeuchte in den Wohnzimmern liegen meist in einem Bereich zwischen etwa 25 und 60%. Ein Grund für die im Vergleich zum Zustand vor Sanierung niedrigeren Werte sind die zumeist höheren Raumlufthtemperaturen im Winter: bei höheren Temperaturen ergeben sich bei gleicher absoluter Feuchte niedrigere Werte der relativen Feuchte.

1 Messzeitraum und Datenausfälle

In diesem Bericht werden die Monitoringergebnisse des zweiten Messjahrs nach der Sanierung dargestellt. Dies entspricht dem Zeitraum vom 01. Juni 2025 bis zum 31. Mai 2026.

Detailliertere Analysen der energetischen Performance und der thermischen Behaglichkeit für die Heizperiode wurden für die kälteste Winterwoche vom 04. Januar bis zum 10. Januar 2026 durchgeführt. Zur Analyse der sommerlichen Behaglichkeit wurde die wärmste (verfügbare) Sommerwoche vom 15. August 2025 bis zum 21. August 2025 herangezogen.

Da unmittelbar vor dem Ende der Laufzeit des Projekts SüdSan eine extrem heiße Sommerwoche mit neuen Juni-Temperaturrekordwerten für Vorarlberg auftrat, wurde die Auswertung der Raumlufttemperaturen für die Woche vom 21.06.26 bis zum 27.06.26 in den Bericht aufgenommen, obwohl der Zeitraum nicht zum zweiten Messjahr nach der Sanierung gehört.

Wegen einiger Datenausfälle und Unterbrechungen sind nicht alle Daten kontinuierlich in hoher Auflösung für den gesamten Messzeitraum verfügbar.

- Zwei Mieter in Haus 12a demontierten im Dezember 2022 trotz schriftlicher Zustimmung zur Durchführung der Messungen alle Monitoring-Einrichtungen in ihren Wohnungen. Für diese Wohnungen liegen daher keine Daten zur Behaglichkeit vor.
- Leistungsaufnahme und Stromverbrauch der Heizstäbe in den Speichern des kleinen Gebäudes (St- Antonius-Straße 19) wurden wegen eines Installationsfehlers erst gegen Ende des zweiten Betriebsjahres nach der Sanierung aufgezeichnet. Für die Zeit davor liegt der Stromverbrauch der Heizstäbe als monatliche Zählerdaten des Stromversorgers vor.
- In weiteren Wohnungen in beiden Gebäuden kam es im Laufe des Messjahrs zu kurzzeitigen Messdatenausfällen.

Insgesamt beeinträchtigen diese Unterbrechungen die Auswertungen nicht.

2 Wetterdaten

Als Grundlage der Interpretation der Energieverbräuche und der thermischen Behaglichkeit werden nachfolgend die Wetterdaten für das gesamte zweite Messjahr nach der Sanierung sowie für die kälteste Winter- und die wärmste Sommerwoche dargestellt.

2.1 Außenlufttemperatur

Abbildung 14 zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur für den Zeitraum vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 als Tagesmittelwerte.

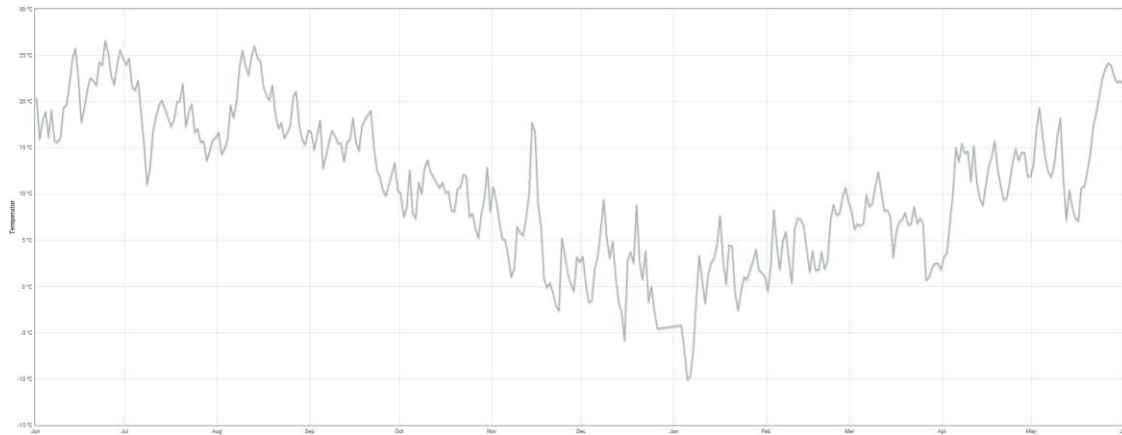


Abbildung 14: Außenlufttemperatur zweites Messjahr, Tagesmittelwerte

Die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur im ersten und zweiten Betriebsjahr sind in Tabelle 1 den Werten gegenübergestellt, die in der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung und in den dynamischen Gebäudesimulationen verwendet wurden. Diese Werte für den Standort Bludenz wurden mit Meteonorm 8.0.4 generiert (Meteonorm Software, 2025). Gewählt wurden die Daten für die neue Periode, diese beruhen für die Außenlufttemperatur auf den Werten der Jahre 2000 bis 2019.

Außenlufttemperatur in °C	Messwerte ZAMG 1. Messjahr	Messwerte ZAMG 2. Messjahr	Meteonorm 8.04
Jun	17,8	21,0	18,0
Jul	20,5	18,2	19,0
Aug	21,2	19,8	18,6
Sep	14,3	14,9	14,5
Okt	11,9	9,9	10,7
Nov	4,0	4,7	5,5
Dez	0,1	2,2	1,7
Jan	2,0	0,3	0,5
Feb	3,1	5,1	1,9
Mar	7,8	6,7	6,0
Apr	12,1	11,8	10,3
Mai	13,6	15,9	14,2
Mittel Messjahr	10,7	10,9	10,1
Mittel Okt bis Mar	4,8	4,8	4,4

Tabelle 1: Vergleich der Monatswerte der gemessenen Außenlufttemperatur im ersten und zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung mit den Werten nach Meteonorm v8.04 (Meteonorm Software, 2025; Meteonorm Software, 2025)

Wie die Gegenüberstellung zeigt, lag der Jahresmittelwert der Außenlufttemperatur in der zweiten Messperiode mit 10,9 °C um 0,8 °C über dem Wert nach Meteonorm 8.04 und um 0,2 °C höher als in der ersten Messperiode. Die Außenlufttemperatur im Mittel der zweiten Heizperiode (Monate Oktober 25 bis März 2026) lag wie in der ersten Heizperiode bei 4,8 °C und damit um 0,4 °C über dem Wert nach Meteonorm 8.04.

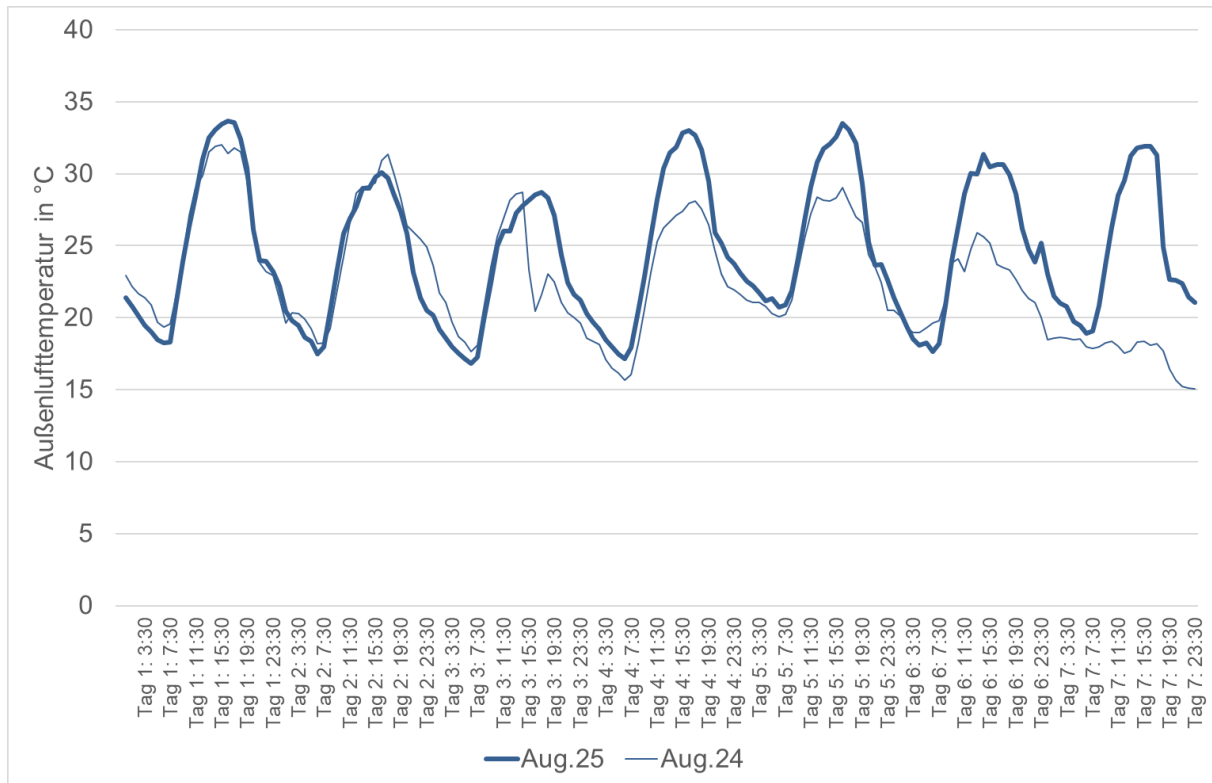


Abbildung 15: Außenlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche des zweiten Messjahrs nach der Sanierung im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres; Stundenmittelwerte

In der wärmsten Sommerwoche des zweiten Messjahrs vom 09.08.2025 bis zum 15.08.2025 traten höhere Außenlufttemperaturen auf als in der wärmsten Sommerwoche des ersten Messjahrs, die ebenfalls im August auftrat. Die Hitzeperiode im zweiten Messjahr hielt darüber hinaus deutlich länger an. Der maximale Stundenmittelwert lag bei 33,7 °C im Vergleich zu 32,0 °C im ersten Messjahr, der maximale Tagesmittelwert bei 26,1 °C im Vergleich zu 25,6 °C.

Der Mittelwert der wärmsten Woche lag 2025 mit 24,6 °C um 2K höher als in der wärmsten Woche im Sommer 2024. In der wärmsten Nacht lag die Außenlufttemperatur stets über 20,7 °C („Tropennacht“).

Die folgende Abbildung entspricht Abbildung 15, zusätzlich ist jedoch der Temperaturverlauf in der extrem heißen Woche Ende Juni 2026 dargestellt. Diese Woche mit Rekord-Außenlufttemperaturen liegt außerhalb des zweiten Messjahrs.

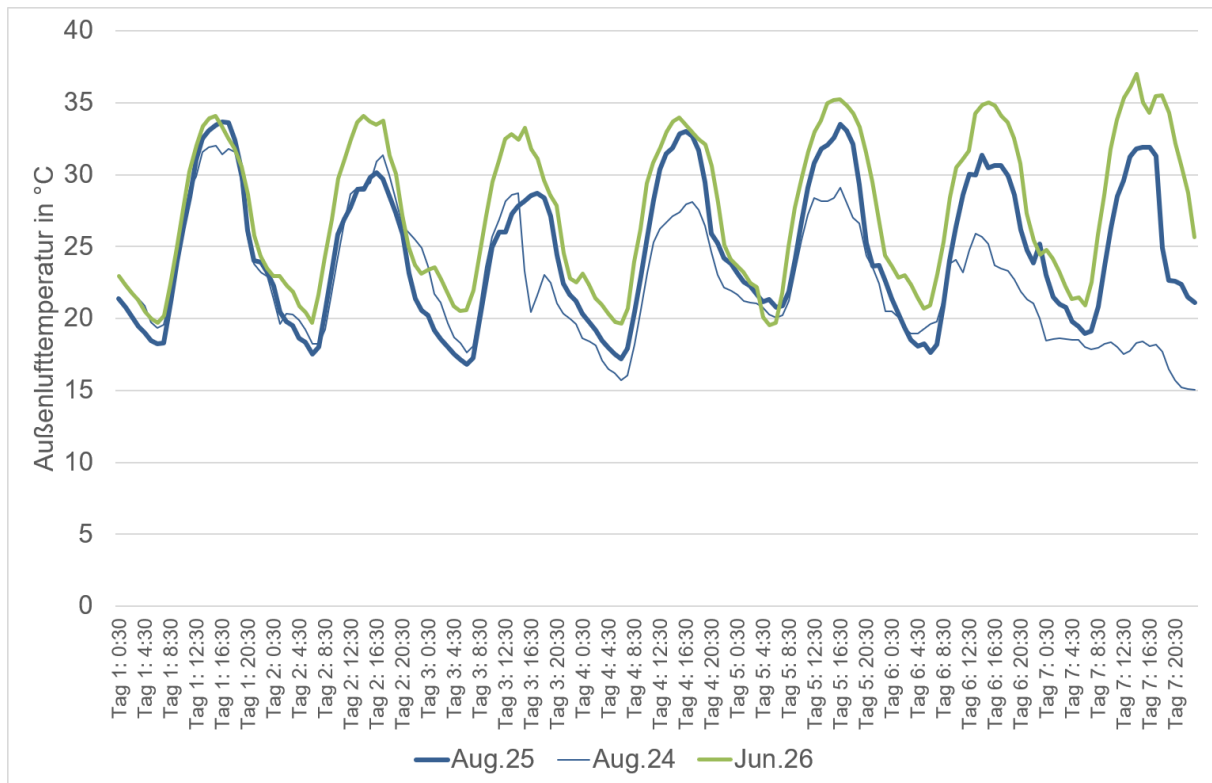


Abbildung 16: Außenlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche des zweiten Messjahrs nach der Sanierung im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres sowie Temperaturen in der Rekord-Temperaturwoche zu Beginn des dritten Messjahrs nach der Sanierung; Stundenmittelwerte

Wie Abbildung 16 verdeutlicht, traten zu Beginn des dritten Messjahrs nach der Sanierung, in der Woche vom 21.06.2026 bis zum 27.06.2026, erheblich höhere Außenlufttemperaturen auf als in den wärmsten Sommerwochen des ersten und zweiten Messjahrs.

Die Tagesmaxima der Stundenwerte lagen während der dargestellten Woche zwischen 34,0 und 37,0 °C, kurzzeitig wurden am Standort Bludenz 37,2 °C gemessen – ein neuer Juni-Rekordwert für Vorarlberg.

Die mittlere Außenlufttemperatur lag während der Hitzewoche Ende Juni 2026 bei 27,5°C und damit um 2,8 bzw. um 4,9°C höher als in den wärmsten Wochen der zwei Jahre zuvor.

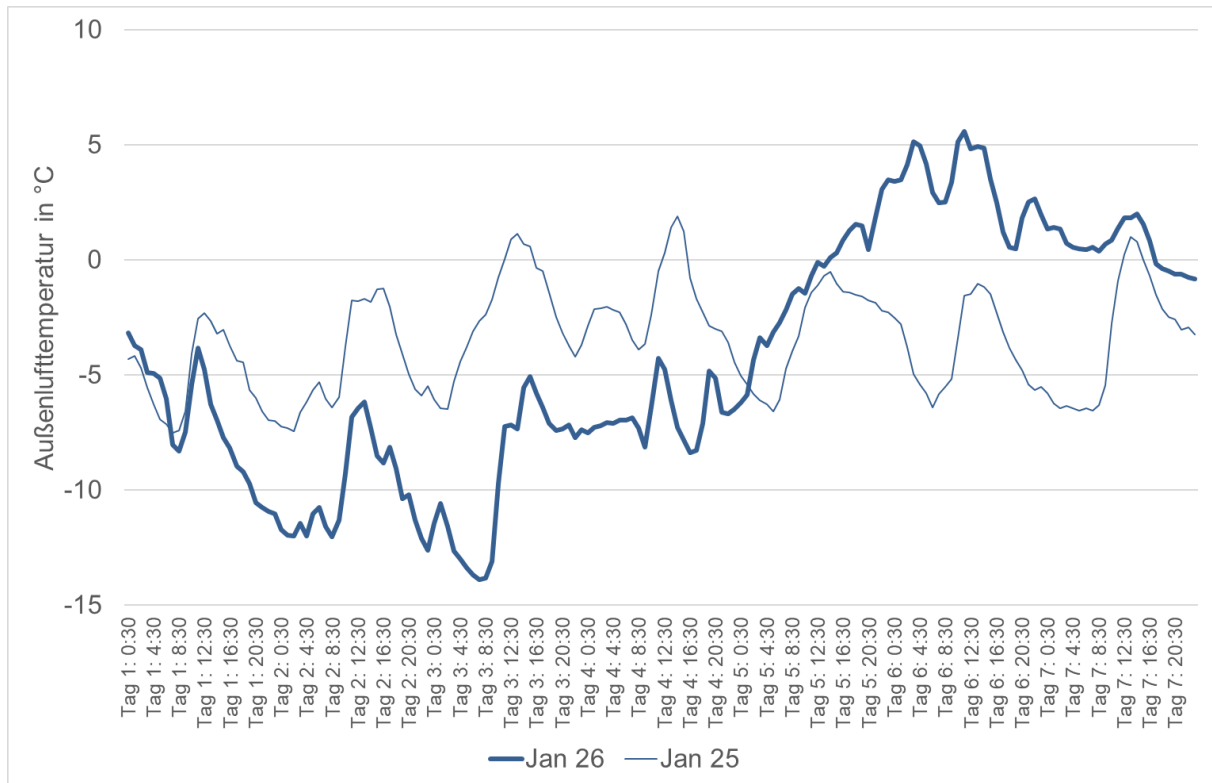


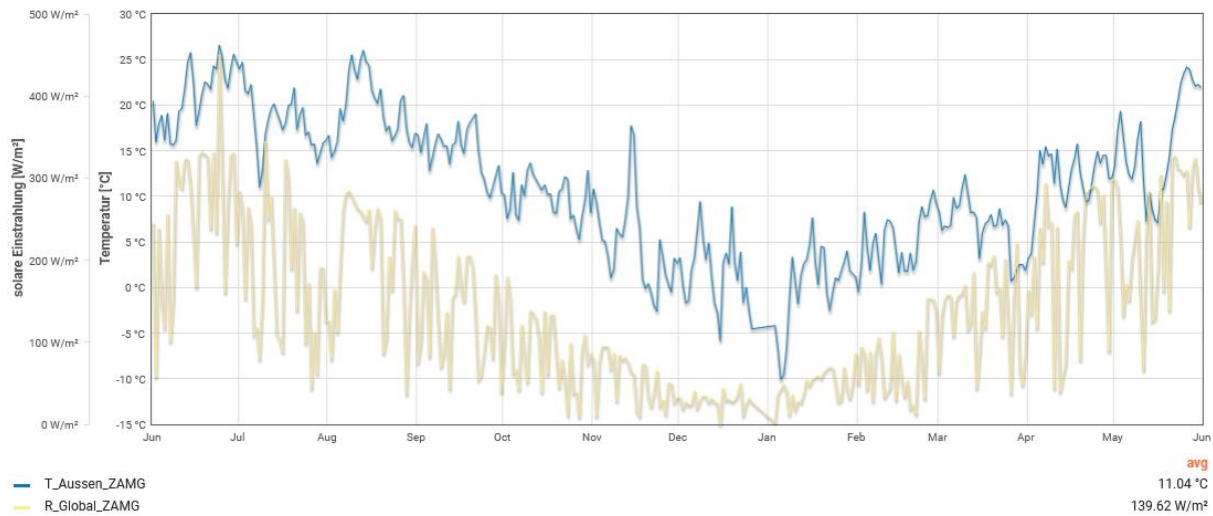
Abbildung 17: Außenlufttemperaturen in der kältesten Woche des zweiten Messjahrs nach der Sanierung im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres; Stundenmittelwerte

Im zweiten Messjahr nach der Sanierung traten deutlich niedrigere Außenlufttemperaturen auf als im ersten. Der minimale Stundenmittelwert lag bei $-13,9\text{ °C}$ im Vergleich zu $-7,5\text{ °C}$, der minimale Tagesmittelwert bei $-10,1\text{ °C}$ im Vergleich zu -6 °C im ersten Messjahr.

Die mittlere Temperatur in der kältesten Winterwoche lag im zweiten Messjahr mit $-4,3\text{ °C}$ um $0,8\text{K}$ niedriger als in der kältesten Woche des ersten Messjahrs.

2.2 Solarstrahlung

Abbildung 17 zeigt den Verlauf der Globalstrahlung und der Außentemperatur für den Zeitraum vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026. Dargestellt sind Tagesmittelwerte.

Gesamter Zeitraum**Abbildung 18: Globalstrahlung zweite Messperiode nach der Sanierung, Tagesmittelwerte**

Die Monatsmittelwerte der Globalstrahlung beider Messjahre sind in Tabelle 2 den Werten gegenübergestellt, die in der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung und in den dynamischen Gebäudesimulationen verwendet wurden. Diese Werte für den Standort Bludenz wurden mit Meteonorm 8.0.4 generiert (Meteonorm Software, 2025). Gewählt wurden die Daten für die neue Periode, diese beruhen für die Strahlung auf den Werten der Jahre 2000 bis 2015.

Globalstrahlung in kWh/(m ² _{Monat})	Messwerte 1. Messjahr	Messwerte 2. Messjahr	Meteonorm 8.04
Juni 24	149,9	184,8	150,0
Juli 24	172,4	138,4	149,0
Aug 24	159,6	153,8	129,0
Sep 24	102,9	96,3	95,0
Okt 24	62,2	65,1	64,0
Nov 24	45,6	39,5	34,0
Dez 24	22,5	22,4	26,0
Jan 24	35,7	34,6	34,0
Feb 24	62,5	48,9	52,0
Mär 24	100,8	100,6	95,0
Apr 24	160,4	145,2	122,0
Mai 24	139,6	176,1	141,0
Summe Messjahr	1 214,1	1 205,7	1 091,0
Summe Okt bis März	329,4	311,1	305,0

Tabelle 2: Vergleich der Monatsmittelwerte der Globalstrahlung im ersten und zweiten Messjahr nach der Sanierung im Vergleich mit den Werten nach Meteonorm 8.0.4 (Meteonorm Software, 2025)

Die Globalstrahlung im ersten Messjahr lag mit 329 kWh/(m²) für die sechs Monate der Heizperiode, Oktober bis März, um knapp 1% unter dem Wert im ersten Messjahr und um etwa 10% über dem langjährigen Jahres-Mittelwert gemäß Meteonorm 8.04.

Die Globalstrahlung in der zweiten Heizperiode lag mit $311 \text{ kWh}/(\text{m}^2)$ um knapp 6% unter dem Wert in der ersten Heizperiode und um etwa 2% über dem langjährigen Heizperioden-Mittelwert gemäß Meteonorm 8.04.

Wärmste Sommerwoche

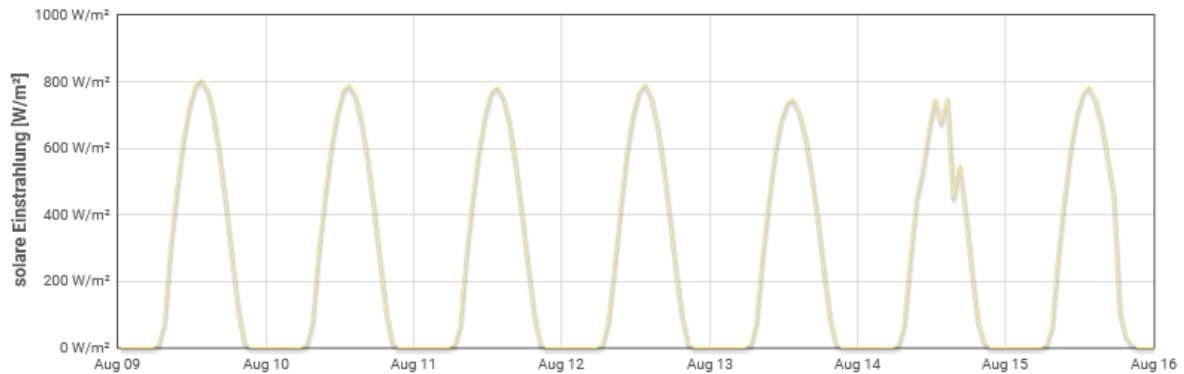


Abbildung 19: Globalstrahlung wärmste Sommerwoche der zweiten Messperiode, Stunden-mittelwerte

Kälteste Winterwoche

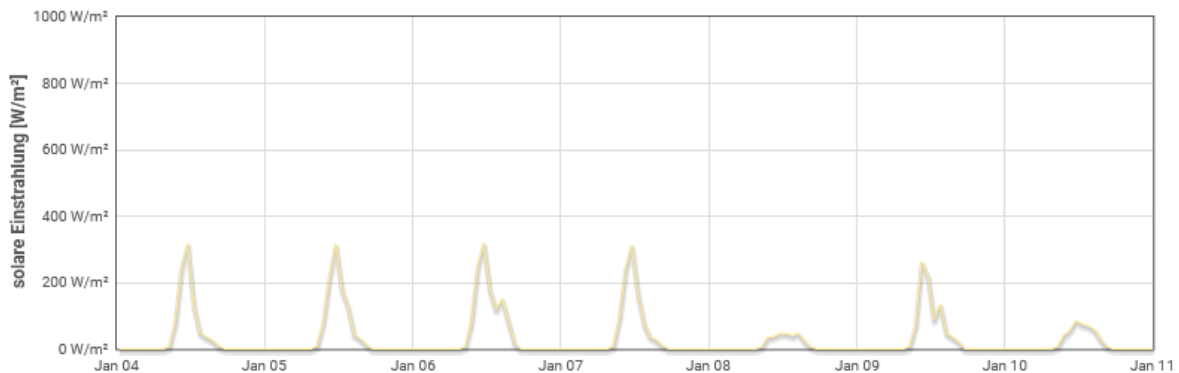


Abbildung 20: Globalstrahlung kälteste Winterwoche der zweiten Messperiode, Halbstundenmittelwerte

3 Ergebnisse großes Gebäude (St. Antonius-Straße 12a)

3.1 Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumlufthqualität

Als Grundlage für die Einordnung der Energieverbrauchsdaten werden zunächst die Daten zum Nutzerverhalten, zur thermischen Behaglichkeit und zur Raumlufthqualität sowie zum Kalt- und Warmwasserverbrauch dargestellt. Die Daten beziehen sich auf die mittlere Bewohneranzahl im Messzeitraum, die nach Angaben der Alpenländische Gemeinnützige WohnbauGmbH bei 13 lag.

3.1.1 Raumlufthtemperatur

Flächengewichtete Monatsmittelwerte der Wohnungen in der Heizperiode

Die folgende Abbildung zeigt die aufsteigend sortierten Mittelwerte der Raumlufthtemperaturen der Wohnungen für die Heizperiode 25/26 (Monate Oktober 25 bis März 26) im Vergleich zu den Werten der ersten Heizperiode 24/25. Die Reihung bezieht sich auf die Messwerte der ersten Heizperiode. In einer Wohnung fand im Laufe des zweiten Messjahres ein Mieterwechsel statt.

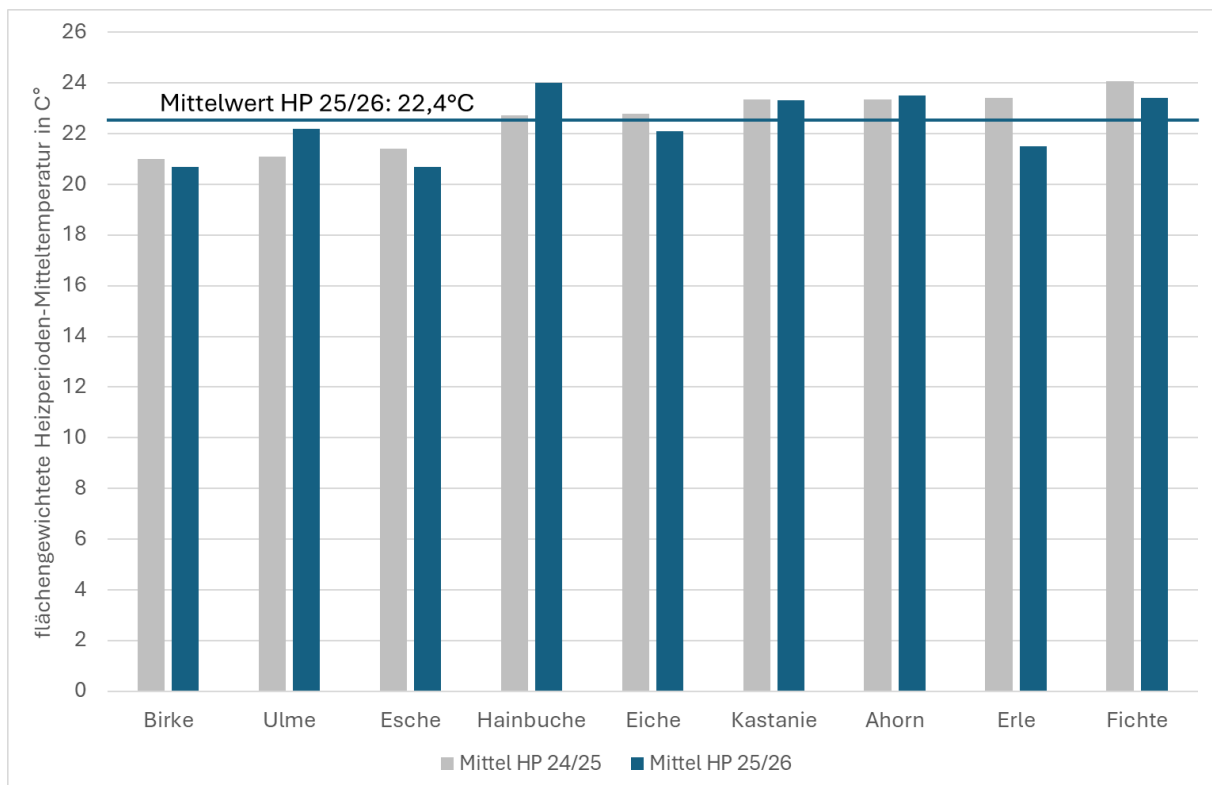


Abbildung 21: aufsteigend sortierte, flächengewichtete Mittelwerte der Raumlufthtemperatur in der Heizperiode 25/26 im Vergleich zu den Werten in der Heizperiode 24/25, Haus 12a

Der flächengewichtete Mittelwert für die Heizperiode 2025/26 lag bei 22,4 °C und entsprach damit fast exakt der Annahme von 22,5 °C in der vorab durchgeführten PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung³. Die in der Verbrauchsprognoseberechnung verwendete Annahme für die mittlere Raumlufthtemperatur beruht auf der Analyse einer Vielzahl an energetisch hochwertigen Mehrfamilienhaus-Neubau- und Sanierungsprojekten. Typische Werte liegen in derartigen Gebäuden in etwa zwischen 21,5 und 24,0 °C (Ploss, 2022), (Großklos, 2023). Dieser Temperaturbereich entspricht dem Wert, für den Untersuchungen von Fanger ein Optimum der empfundenen Behaglichkeit bei üblicher Bekleidung im Winter ausweisen. Laut Fanger liegt die optimale Wohnfühltemperatur bei Winterbekleidung bei 23,2 °C (Passipedia, 2025). Die gemessene durchschnittliche Raumlufthtemperatur nach der Sanierung lag während der zweiten Heizperiode um 4,5 °C über dem Vergleichswert vor Sanierung. Dieser lag im Zeitraum vom 01. Oktober 2022 bis zum 31. März 2023 bei 17,9 °C (Wörl, 2024).

Der flächengewichtete Mittelwert während der Heizperiode 2025/26 lag um 0,2K unter dem Wert in der ersten Heizperiode.

Die Mittelwerte der einzelnen Wohnungen lagen in der zweiten Heizperiode nach der Sanierung zwischen 20,7 und 24,0 °C.

Raumlufthtemperatur über Außenlufthtemperatur im Jahresverlauf

Für einen ersten Überblick des Raumtemperaturkomforts eignet sich die Darstellung als Punktwolke mit Darstellung der Raumlufthtemperatur über der Außenlufthtemperatur.

Die beiden folgenden Abbildungen stellen die Raumlufthtemperaturen in den Wohnzimmern des Gebäudes 12a vor Sanierung und im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung sowie die dazugehörigen Außenlufthtemperaturen dar. Der Messzeitraum vor Sanierung umfasste nur 9 Monate (von September 22 bis Mai 23).

Jeder dargestellte Punkt in den folgenden Abbildungen entspricht einem Stundenmittelwert. Die orangen Bereiche stellen das Behaglichkeitsfeld nach DIN 1946-2 dar (Deutsches Institut für Normung, 1994). Während im Behaglichkeitsfeld die operative Temperatur dargestellt wird, handelt es sich bei den Messwerten um Raumlufthtemperaturen.

3 Da zwei Bewohner trotz schriftlicher Einverständniserklärung die Messeinrichtungen demontierten, sind die Raumlufthtemperaturen nur für 9 der 11 Wohnungen dargestellt.

Vor der Sanierung (September 2022 bis Mai 2023)

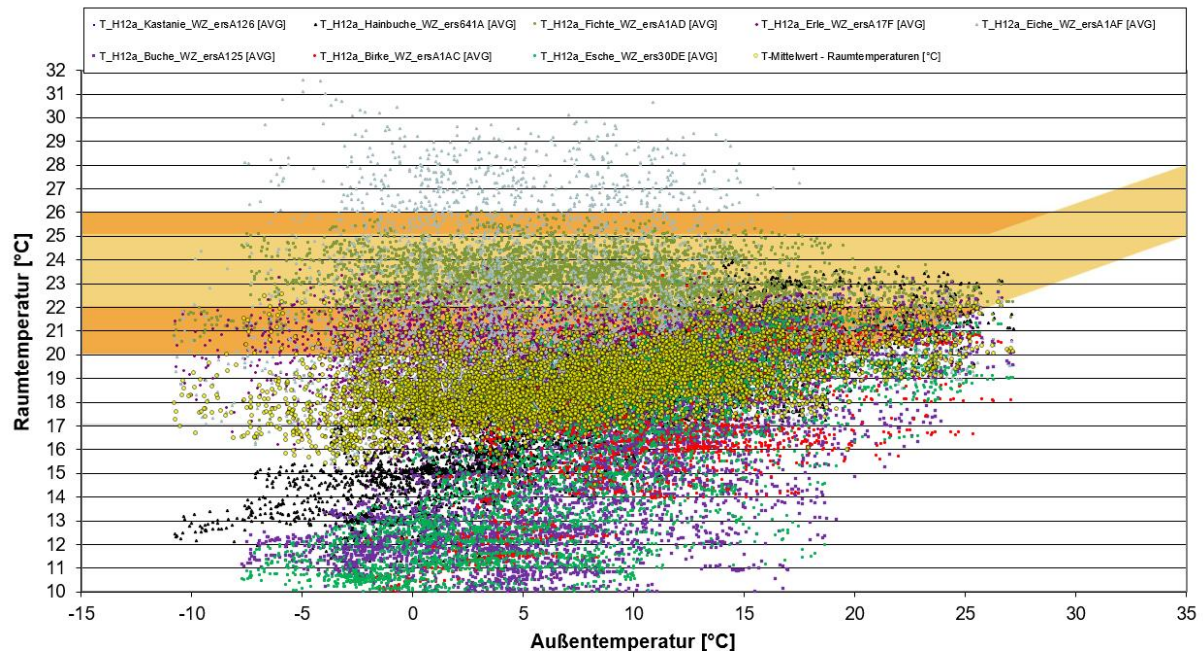


Abbildung 22: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern vor Sanierung, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Zweites Messjahr nach der Sanierung:

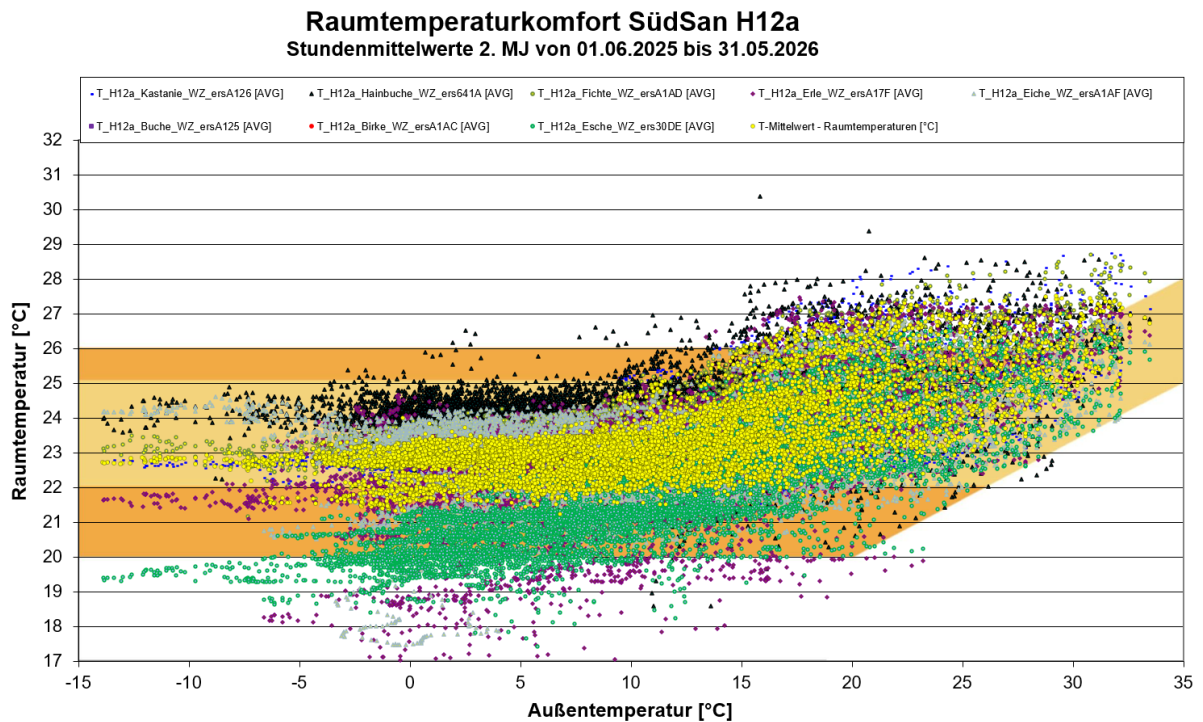


Abbildung 23. Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, zweites Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Vor der Sanierung weisen die Temperaturverläufe im Winter eine ausgeprägte tageszeitliche Dynamik auf. Ein großer Anteil der Messwerte liegt deutlich unterhalb des Behaglichkeitsfeldes. Dieser Effekt betrifft aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes alle Wohnungen. Besonders groß sind die Tag-Nacht-Schwankungen in den Wohnungen, die über Holz-Einzelöfen beheizt werden.

Nach der Sanierung zeigen die Daten ein homogeneres Temperaturniveau mit geringen Schwankungen im Tages- und Jahresverlauf. Raumlufttemperaturen unter 20°C treten nur noch gewollt auf, wenn der oder die Bewohner auf Urlaub sind und die Heizung bewusst nach unten drehen. Der Stundenmittelwert über alle Wohnzimmer-Raumlufttemperaturen ist zusätzlich als gelbe Punktwolke dargestellt.

Insgesamt bestätigt der Vergleich der beiden Abbildungen den deutlich erhöhten thermischen Komfort und die verbesserte Energieeffizienz des Gebäudes infolge der Sanierungsmaßnahmen. Die gleichmäßigeren Temperaturverläufe sind ein Indikator für eine reduzierte Abhängigkeit von kurzfristigen Außentemperaturänderungen und eine stabilere Innenraumtemperatur über den gesamten Untersuchungszeitraum.

Raumlufttemperaturen in der kältesten Winterwoche

Die folgende Abbildung zeigt die Außenlufttemperatur und die Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern der einzelnen Wohnungen während der kältesten Winterwoche der zweiten Heizperiode.

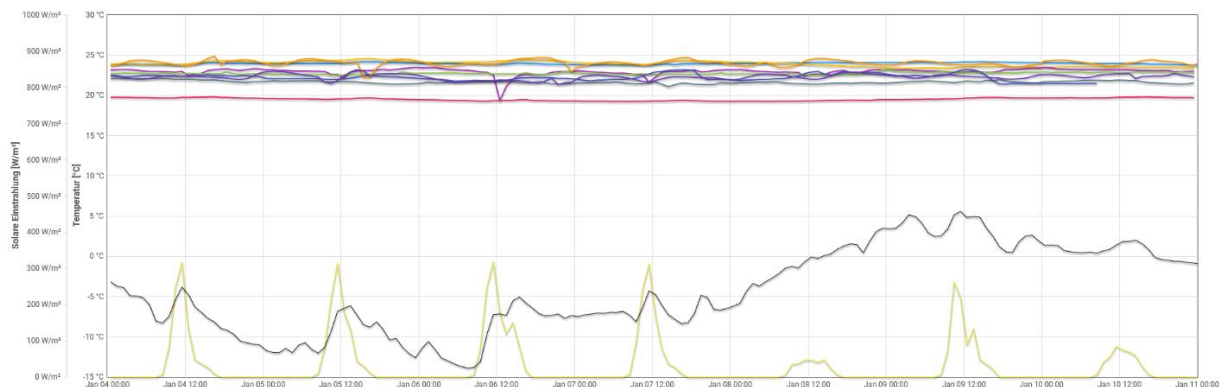


Abbildung 24: Haus 12a, Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern während der kältesten Winterwoche in der zweiten Heizperiode nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Die Stundenmittelwerte der Außentemperaturen lagen in der kältesten Winterwoche der zweiten Heizperiode nach der Sanierung bei minimal -13,88 °C und damit deutlich niedriger als in der ersten Periode, in der der Minimalwert bei -7,5 °C lag.

Die mittleren Raumlufthtemperaturen von 8 der 9 Wohnungen lagen zwischen 21,7 und 24,0 °C und damit über dem in der Regelung hinterlegten Sollwert von 21 °C $\pm$ 3K. Lediglich im Wohnzimmer der Wohnung Esche lag die mittlere Temperatur mit 19,5 °C niedriger. Da in dieser Wohnung während der dargestellten Woche konstant sehr niedrige CO₂-Konzentrationen auftraten und kein Kaltwasserverbrauch sowie kein Haushaltsstromverbrauch zu verzeichnen war, kann davon ausgegangen werden, dass sie in dieser Zeit unbewohnt war. Die Raumthermostate standen während der Abwesenheitsperiode auf 19°C, die gewünschte Temperatur wurde also erreicht.

Die mittlere Raumlufthtemperatur der Wohnzimmer in der kältesten Woche entspricht fast exakt dem Wert während der gesamten Heizperiode von Oktober 25 bis März 26. Auch dies zeigt, dass das Wärmeversorgungssystem auch bei den sehr niedrigen Außenlufttemperaturen während der kältesten Winterwoche die notwendige Leistung bereitstellen kann.

Wie in der ersten Heizperiode traten die höchsten Raumlufthtemperaturen im Wohnzimmer der Dachgeschoß-Wohnung "Hainbuche" auf. Der höchste gemessene Stundenmittelwert betrug in der zweiten Heizperiode nach der Sanierung 24,9 °C und lag damit deutlich niedriger als in der ersten Heizperiode.

Raumlufthtemperaturen in der wärmsten Sommerwoche

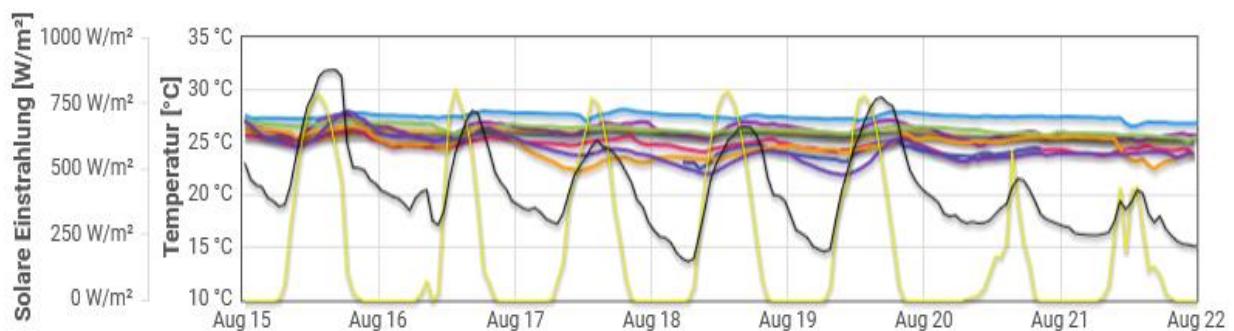


Abbildung 25: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste (verfügbare) Sommerwoche im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

In der wärmsten Sommerwoche 2025 lag der Stundenmittelwert der Außenlufttemperatur bei bis zu 33,7 °C. Wegen eines Messdatenausfalls in dieser Woche zeigt die Grafik die Raumlufthtemperaturen unmittelbar nach der wärmsten Sommerwoche. In der dargestellten Woche betrug der Stundenmittelwert der Außenlufttemperatur bis zu 31,9 °C. Die mittleren Stundenwerte der Temperaturen in den Wohnzimmern lagen zwischen 24,0 und 27,5 °C. Extreme Ausreißer oder Überhitzungsspitzen sind nicht erkennbar.

Trotz tageszeitlicher Außentemperaturschwankungen (schwarze Kurve – nachts teils bis 14 °C) zeigen sich in den Wohnzimmern nur geringe Unterschiede zwischen Tag- und Nacht-

temperaturen. Die gemessenen Raumtemperaturen liegen konstant im Bereich von 22,0 °C bis 28,1 °C, mit Tagesamplituden meist unter 2 K. Dies spricht dafür, dass das Potential der Nachtlüftung nicht vollständig ausgenutzt wurde.

Raumlufthtemperatur in der heißen Sommerwoche zu Beginn des dritten Messjahrs

Die folgende Abbildung zeigt die Raumlufthtemperatur in der Rekord-Sommerwoche, die unmittelbar nach Ende des zweiten Messjahrs vom 21.06. bis zum 27.06.2026 auftrat.

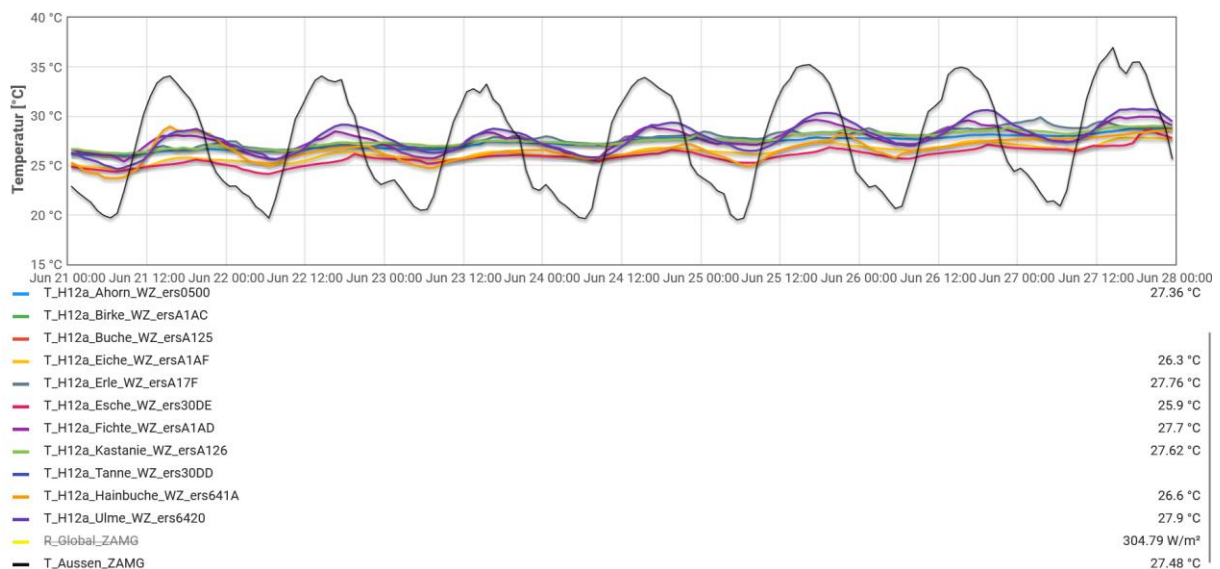


Abbildung 26: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen Rekord-Sommerwoche unmittelbar nach Ende des zweiten Messjahrs nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

In der Rekord-Sommerwoche Ende Juni 2026 lag der Stundenmittelwert der Außenlufttemperatur bei bis zu 37,0°C, die Höchstwerte aller 7 Tage liegen bei mindestens 34,0°C. In drei Nächten sank die Außenlufttemperatur nicht unter 20°C („Tropennacht“). Die mittleren Stundenwerte der Temperaturen in den Wohnzimmern lagen zwischen 25,2 und 29,0°C.

Zu erkennen ist, dass sich die Raumlufthtemperaturen in allen Wohnungen im Laufe der Woche langsam erhöhen. Am letzten Tag der dargestellten Woche lagen die Maxima der Stundenwerte der Raumlufth bei einer Außenlufttemperatur von bis zu 37,0°C zwischen 27,8 und 30,8°C. Die Abkühlung in der Nacht liegt in den meisten Wohnungen zwischen 0,2 und 1,1K. Dies verdeutlicht das begrenzte Auskühlpotential durch Nachtlüftung in der Tropennacht mit einer min. Außenlufttemperatur von 20,9°C. Lediglich in zwei Wohnungen sinkt die Raumlufthtemperatur in der Nacht um etwa 2 bis 3K.

Raumlufthtemperatur in der kältesten Winterwoche – vor und nach der Sanierung

Der Verlauf der Raumlufthtemperatur in der kältesten Winterwoche vor und nach der Sanierung wird in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt. Der Vergleich erfolgt am Beispiel der Wohnung „Ahorn“, die vor der Sanierung mit Stückholz beheizt wurde.

Als kälteste Winterwoche vor der Sanierung wurde, wie bereits im Bericht zum Monitoring vor Sanierung, der Zeitraum vom 25.01.2023 bis zum 31.01.2023 herangezogen (Wörl, 2024), als kälteste Winterwoche während der zweiten Heizperiode nach der Sanierung der Zeitraum vom 04.01.2026 bis zum 11.01.2026.

Die minimale Außentemperatur lag in der kältesten Winterwoche des zweiten Messjahrs nach der Sanierung mit $-13,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ um mehr als 6K niedriger als in der kältesten Woche vor Sanierung.

Vor der Sanierung

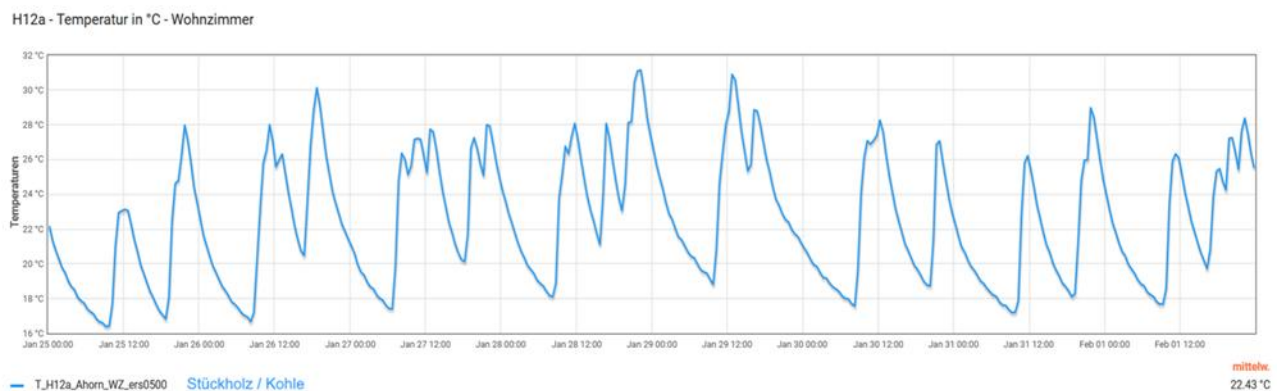


Abbildung 27: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperatur kälteste Winterwoche vor Sanierung, Stundenmittelwerte

Zweites Messjahr nach der Sanierung

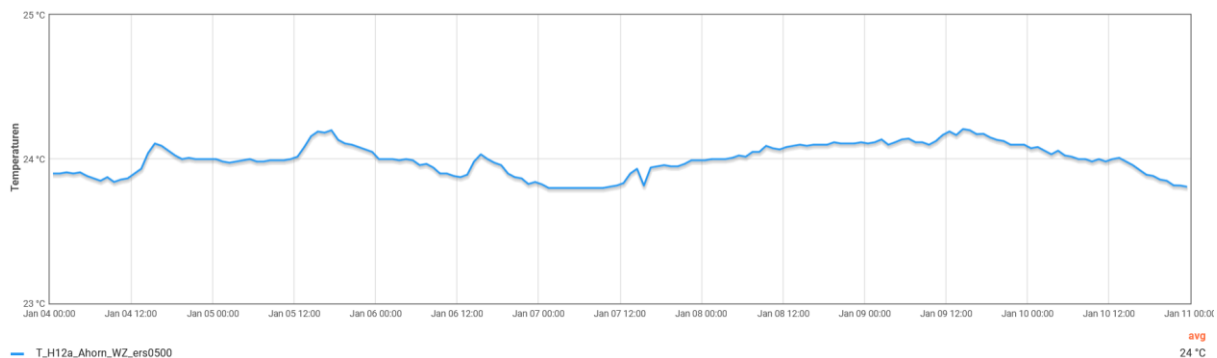


Abbildung 28: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperaturverlauf in der kältesten Winterwoche im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Vor der Sanierung stiegen die Temperaturen nach Anheizen des Einzelofens auf bis zu $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ und fielen aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes des Gebäudes im Laufe der Nacht um bis zu $12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Im zweiten Messjahr nach der Sanierung zeigt sich ein sehr gleichmäßiger Temperaturverlauf mit Raumlufttemperaturen zwischen $23,8$ und $24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gründe für diese geringen Tempera-

turschwankungen sind der sehr gute Wärmeschutz der Gebäudehülle, die durch die Komfortlüftung reduzierten Lüftungswärmeverluste und die gleichmäßige Wärmeabgabe über das Wandheizsystem.

Gewünschte Solltemperaturen und Ist-Temperaturen im Winter 2025-2026

Die vorher gezeigten Raumtemperaturen geben Information über die Behaglichkeit und den Zustand der Räume, aber nicht, ob es die Bewohnenden individuell kälter oder wärmer wünschen. Aus diesem Grund wurden im zweiten Messjahr die Sollwertvorgaben der einzelnen Raumthermostate mitgeloggt. Aus diesen und den aufgezeichneten Raumlufttemperaturen kann man erkennen, ob die Soll-Temperaturen erreicht wurden oder nicht. Die Sollwertvorgaben können von den Bewohner*innen raumweise in einer 7-stufigen Skala von -3 bis 0 und +3 am Thermostat eingestellt werden. Dieser Skala weist die MSR intern Temperaturwerte zu. Bei der Interpretation der Werte ist zu beachten, dass die Wohnungen vorher mit dezentralen Systemen beheizt wurden, so dass die Bewohner*innen keine Erfahrungen mit Raumthermostaten hatten. In vielen Wohnungen handelte es sich um sehr flink reagierende Systeme wie Holz-Einzelöfen oder Infrarotpaneele. Im Zuge der Sanierung wurde mit der Wandheizung sein sehr träges System installiert. Außerdem ist zu beachten, dass der vom Mieter einstellbaren Skala in der MSR zwar Temperaturwerte zugewiesen sind, dass jedoch aus der gewählten Stufe nicht gefolgert werden kann, dass die Bewohner*innen die zugeordnete Temperatur wünschen. So zeigt etwa die Stellung +3 des Raumthermostats nicht unbedingt, dass der Mieter die zugeordnete Temperatur (von 25°C) wünscht, sondern, dass er eine tendenziell höhere Temperatur erreichen möchte. Umgekehrt muss die Thermostat-Stellung -3 nicht bedeuten, dass der Bewohner*innen die zugeordnete Raumlufttemperatur von 18° wünscht, sondern dass er eine tendenziell niedrigere Temperatur möglichst schnell erreichen möchte.

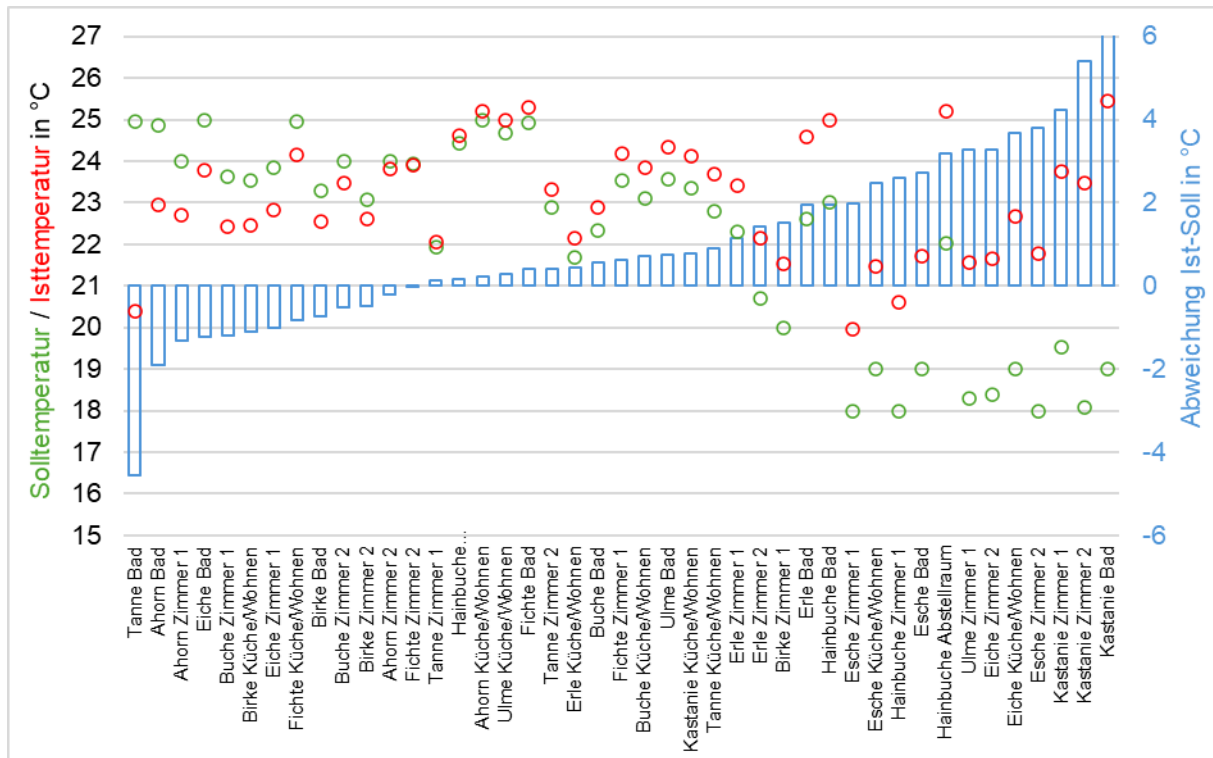


Abbildung 29: Mittlere Raumlufttemperaturen, Solltemperaturen und Abweichungen der einzelnen Räume im Haus 12a dargestellt im Winter 2025-2026.

In der Abbildung sind die mittleren Raumlufttemperaturen (rot), Solltemperaturen (grün) und Abweichungen (blau) im Winter 2025/2026 für alle Räume dargestellt. Man erkennt an den positiven Abweichungen, dass 70% der Räume die Solltemperatur erreichen und sogar übererfüllen. Bei der Wohnung Kastanie beispielsweise sieht man (ganz rechts), dass diese 4 - 6 °C über Soll liegt, aber im Kapitel Heizwärmeverbrauch einen sehr geringen Verbrauch aufweist. Es handelt sich um eine südseitig ausgerichtete Wohnung in einem Zwischengeschloß.

In insgesamt 6 Räumen rufen die Bewohnenden die maximale Temperatur von 25 °C ab (grüne Punkte bei 25°C). In 3 von diesen liegen die Isttemperaturen höher, bei einer liegt die Abweichung nach unten unter 1 °C. Die drei Räume mit Solltemperatur 25 °C und Abweichung nach unten von mehr als 1 °C sind 3 nordseitig gelegene Bäder. Zwei von diesen Bädern weisen mittlere Raumtemperaturen von 23 - 24 °C auf. Nur das Bad der Wohnung Tanne ist mit einer mittleren Raumlufttemperatur von 20,5 °C und einer Solltemperatur von 25 °C ein Ausreißer nach unten. In dieser Wohnung sollten noch die Thermostate und Stellmotoren überprüft werden, um eine Fehlfunktion der Heizung auszuschließen. Insgesamt sind die meisten der Räume mit Abweichungen nach unten diejenigen welche in den Simulationen bei der Planung mit zusätzlichen IR-Panelen ergänzt wurden, z.B. in den Bädern, damit 24°C Raumtemperaturen erreicht werden können.

Es gibt außer dem Bad (Tanne) keinen Raum, welcher Raumlufttemperaturen unter 22 °C aufweist, aber eine höhere Solltemperatur verlangt.

In nachfolgender Grafik sind die gleichen Ergebnisse wohnungsweise dargestellt. Hier sieht man, dass 2 der 11 Wohnungen tendenziell eine Abweichung nach unten aufweisen, wobei diese zu den 5 Wohnungen mit den höchsten mittleren Raumlufttemperaturen über 23 °C zählen.

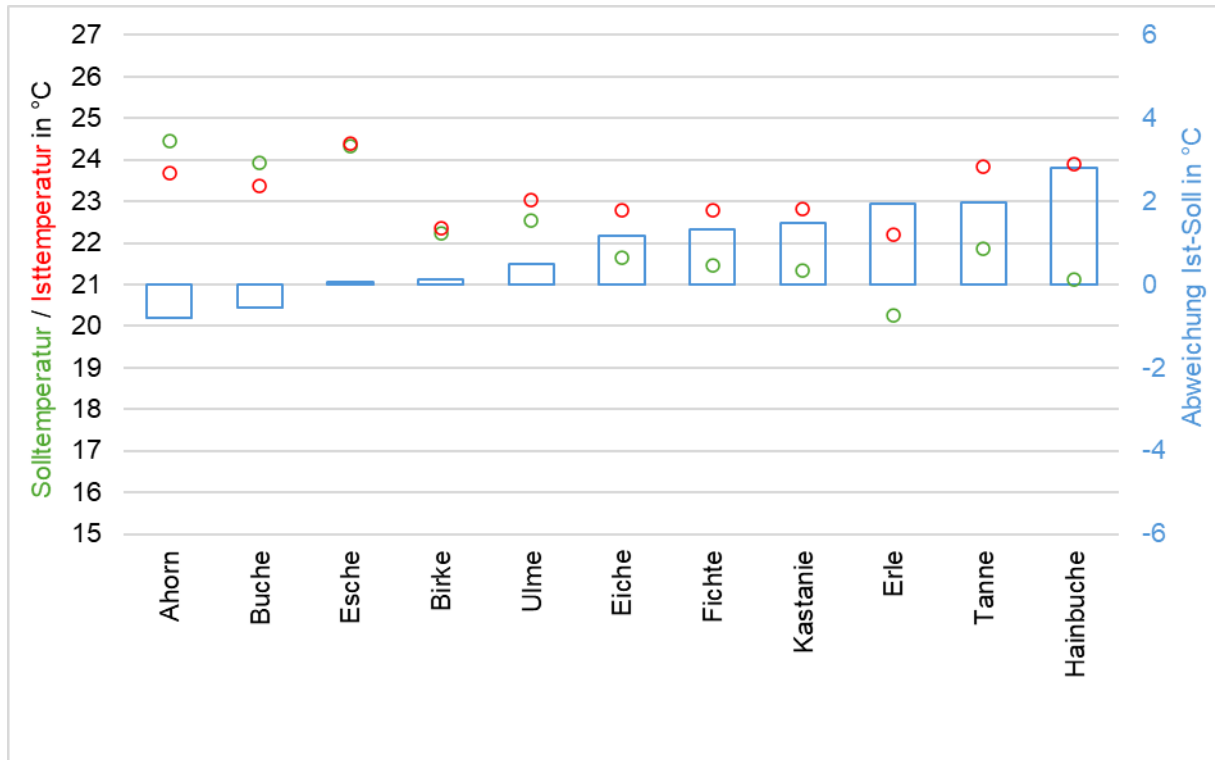


Abbildung 30: Mittlere Raumlufttemperaturen, Solltemperaturen und Abweichungen der einzelnen Wohnungen im Haus 12a dargestellt im Winter 2025-2026.

Temperaturen in den temperaturkritischen Räumen in der kältesten Winterwoche

Wie die dynamischen Gebäudesimulationen zeigen, haben die nordorientierten, an das Treppenhaus grenzenden EG-Räume das ungünstigste Verhältnis aus Heizlast und zur Verfügung stehender Außenwand-Heizfläche. Es handelt sich um die Schlafzimmer der Wohnungen Ahorn und Birke.

Für diese beiden Schlafzimmer und generell für alle Bäder war zunächst vorgesehen, zusätzlich elektrische Infrarotpaneele einzusetzen. Diese wurden jedoch bewusst nicht installiert, da sie gemäß Simulation nur für sehr kurze Zeit zur Spitzenlastheizung benötigt werden und leicht nachrüstbar sind.

Die beiden Wohnungen im Erdgeschoss sind für die Analyse der Behaglichkeit in der kältesten Winterwoche daher besonders interessant. Deshalb wurden die Temperaturen dieser beiden Wohnungen sowie die Außentemperatur auch für die kälteste Woche des zweiten Messjahres

nach der Sanierung ausgewertet. Zusätzlich konnten in der zweiten Messperiode auch die Einstellungen der Raumthermostate ausgewertet werden (siehe Kapitel vorher).

Die folgende Abbildung zeigt die beiden Erdgeschosswohnungen mit den kritischen Räumen.

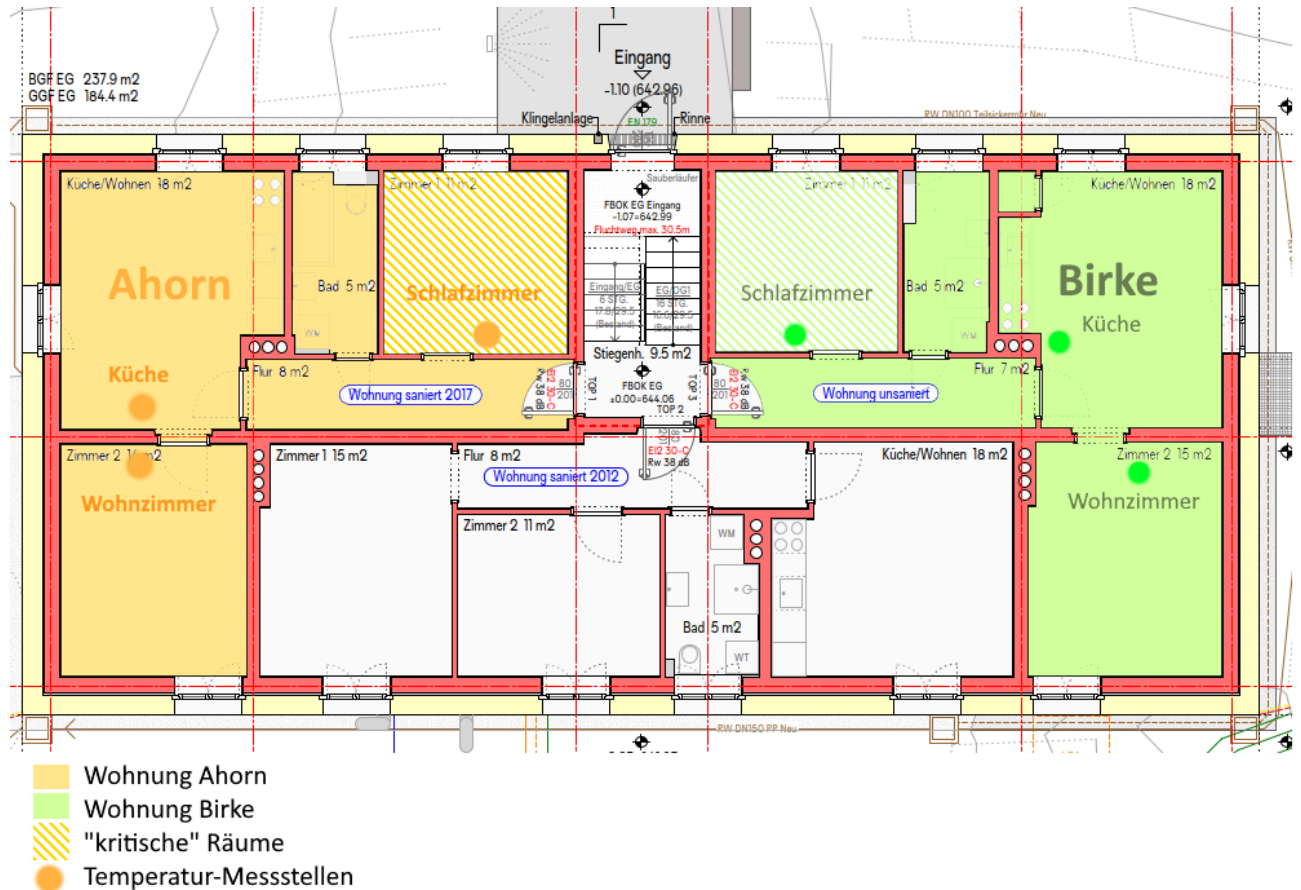


Abbildung 31: Haus 12a: Messstellen temperaturkritische Räume

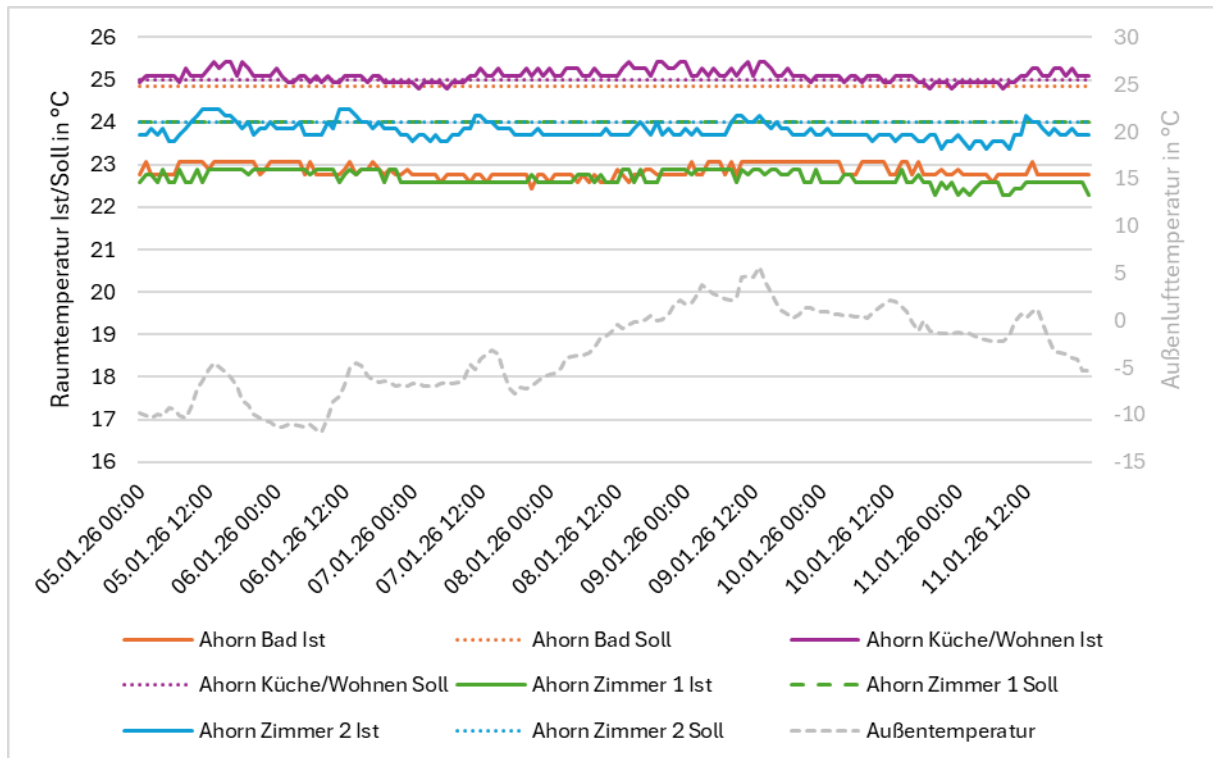


Abbildung 32: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Raumlufttemperaturen und Solltemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2026, Stundenmittelwerte (MSR Siemens)

Die Abbildung zeigt Raumlufttemperaturen und Solltemperaturen in der Wohnung Ahorn während der kältesten Winterwoche der zweiten Heizperiode nach der Sanierung als Stundenmittelwerte gemäß MSR Siemens. Man erkennt in der kalten Winterwoche mit $-13,9^{\circ}\text{C}$ Außenlufttemperatur, dass Küche/Wohnen beim eingestellten Sollwert liegen und Raumlufttemperaturen von etwa 25°C erreichen. Zimmer 2 liegt mit 24°C ebenfalls bei seinem eingestellten Sollwert. Zimmer 1, der kritische Raum liegt mit 23°C etwa 1°C unter dem von Mieter eingestellten Sollwert von 24°C , das Bad mit 23°C etwa 2°C unter seinem Sollwert von 25°C . Der Mieter der Wohnung Ahorn gibt an, zeitweise direktelektrisch nachzuheizen, um das gewünschte Temperaturniveau zu erreichen.

Aus den Messwerten und den Sollwerteinstellungen erkennt man, dass in den beiden kritischen Räumen, in denen in der Planung ein IR-Panel vorgesehen war, die Wandheizung die sehr hohen Sollwerte nicht zur Gänze erreicht. Im kritischen Raum Zimmer 1 liegen die Temperaturen aber immer noch über den geplanten 22°C , einzig im Bad werden die normativen 24°C in der kalten Winterwoche um etwa 1°C unterschritten.

Aus diesen Werten kann gefolgert werden, dass die Heizkurve mit den zugehörigen Vorlauf-temperaturen auch bei sehr kalten Außenlufttemperaturen für das Gebäude mit der Wandhei-

zung passt. Es sind aber keine großen „Sicherheitszuschläge“ enthalten. Es zeigt sich, dass die Planung unter Hilfenahme von dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation eine gute Vorhersage des Verhaltens des Gebäudes erlaubt, so dass Planungsparameter wie die notwendige Heizkurve im Vorfeld sehr gut ermittelt werden können.

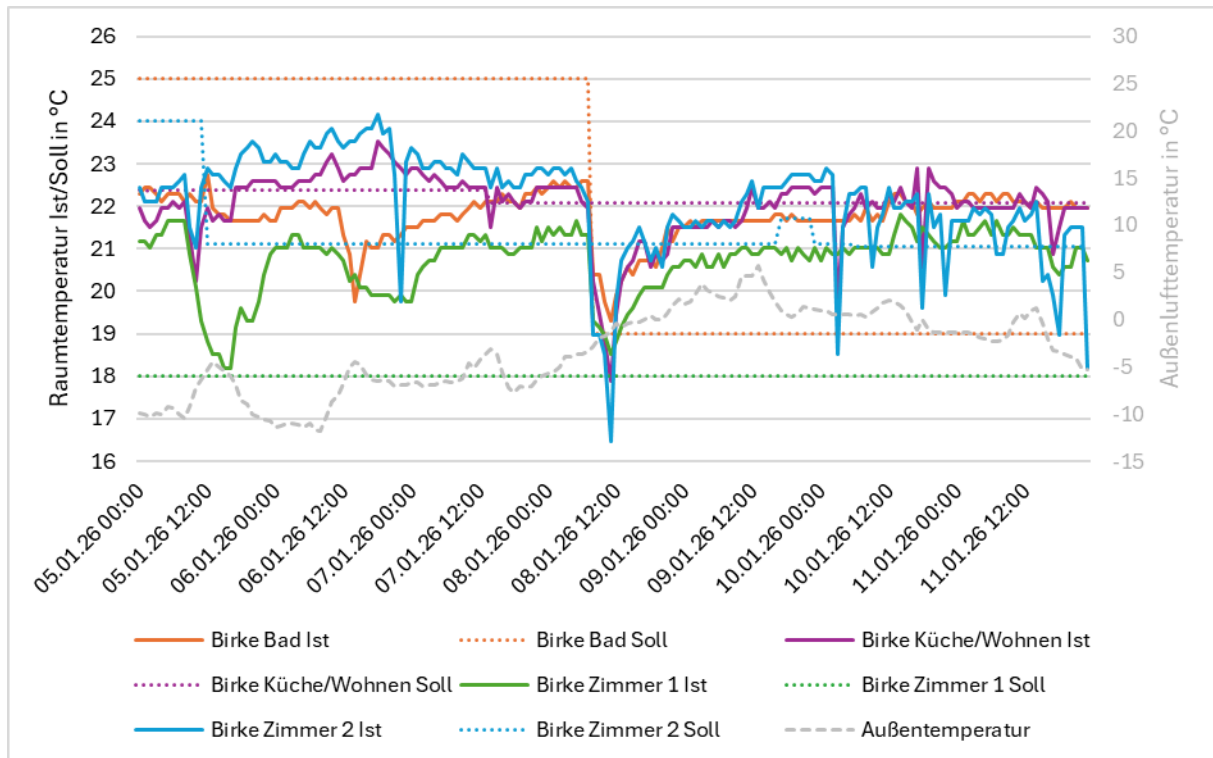


Abbildung 33: Haus 12a, Wohnung Birke, Raumlufttemperaturen und Solltemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2026, Stundenmittelwerte (MSR Siemens)

Die Abbildung zeigt Raumlufttemperaturen und Solltemperaturen in der Wohnung Birke während der kältesten Winterwoche der zweiten Heizperiode nach der Sanierung als Stundenmittelwerte gemäß MSR Siemens. Man erkennt, dass die Raumlufttemperatur in Küche/Wohnen in der kalten Winterwoche mit bis zu $-13,9^{\circ}\text{C}$ Außenlufttemperatur beim eingestellten Sollwert liegt und etwa 22°C erreicht.

Am 8.1.26 um etwa 7:00 Uhr sieht man einen deutlichen Temperaturabfall in allen Räumen, aber auch eine manuelle Absenkung des Sollwertes des Thermostates im Bad von 25°C auf 19°C (orange gepunktet). Ebenfalls wurde das Thermostat in Zimmer 2 am 5.1.2026 von 24°C auf 21°C gesenkt. Der deutliche Temperaturabfall am 8.1 um ca. 7:00 wird auf eine Fensterlüftung in der gesamten Wohnung zurückgeführt. Dies lässt sich anhand der Messdaten leider nicht nachweisen, da der CO_2 und Feuchte Sensor im Wohnzimmer in dem Zeitraum keinen Wert anzeigt. Der danach sich einstellende ansteigende Temperaturverlauf in allen Räumen lässt sich aber mit dem trägen Wiederaufheizverhalten der Wandheizung von bis zu 24 Std. erklären.

Lässt man also den Zeitraum der Fensterlüftung am 8.1.26 um 7:00 bis am 9.1.26 um 7:00 außen vor, kann man festhalten, dass die Raumlufthtemperaturen durchwegs über den eingestellten Solltemperaturen liegen. Zimmer 1 – der kritische Raum – liegt mit 21 °C etwa 3 °C über seinem Sollwert von 18 °C, das Bad mit etwa 22 °C zu Beginn unter dem alten Sollwert von 25 °C, dann etwa 3 °C über seinem Sollwert von 19 °C. Zimmer 2 liegt mit etwa 22 °C meist über seinem eingestellten Sollwert von 21 °C.

Aus den Messwerten und den Sollwerteinstellungen erkennt man in dieser Wohnung, dass im kritischen Räumen, in dem in der Planung ein IR-Panel vorgesehen war, die Wandheizung den Sollwert erreicht – eventuell auch nur, weil dieser mit 18 °C sehr niedrig ist. Im kritischen Bad werden die normativen 24 °C in der kalten Winterwoche um etwa 2 °C unterschritten, dies auch zu Beginn, als das Thermostat noch auf 25 °C eingestellt war.

3.1.2 Raumlufftfeuchte

Die Raumlufftfeuchte wurde sowohl in den Wohnungen als auch im Keller aufgezeichnet.

Raumlufftfeuchte in den Wohnungen

In den folgenden beiden Behaglichkeitsdiagrammen nach DIN 1946-2 ist die relative Feuchte in Abhängigkeit von der Raumlufftemperatur für die Wohnzimmer in Haus 12a dargestellt. Gezeigt werden die beiden Zeiträume September 2022 bis Mai 2023 (vor der Sanierung) und Juni 2025 bis Mai 2026 (nach der Sanierung).

Vor der Sanierung

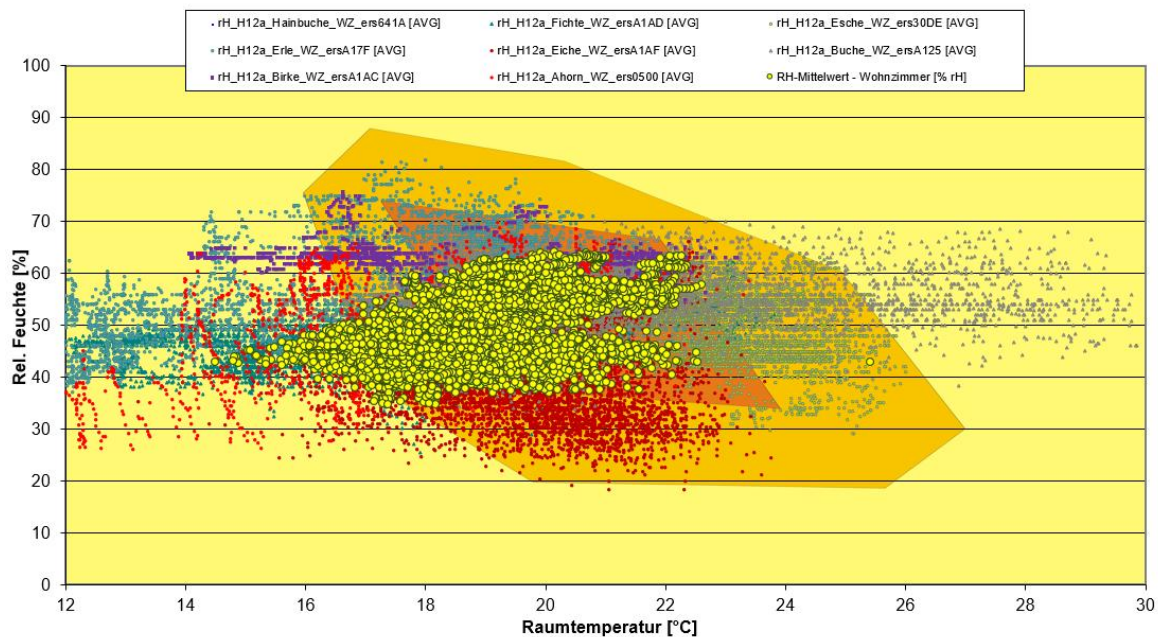


Abbildung 34: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufftemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte

Vor der Sanierung weisen die Feuchteverläufe mit Werten von 25% rH im bis 80% rH eine hohe Schwankungsbreite auf. Vor allem die 80% rH sind als kritisch zu betrachten, ebenso weisen die Temperaturverläufe im Winter eine ausgeprägte tageszeitliche Dynamik auf.

Ein großer Anteil der Messwerte liegt außerhalb des Behaglichkeitsfeldes. Dieser Effekt betrifft aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes alle Wohnungen. Besonders groß sind die Tag-Nacht-Schwankungen in den Wohnungen, die über Holz-Einzelöfen beheizt werden.

Zweites Messjahr nach der Sanierung

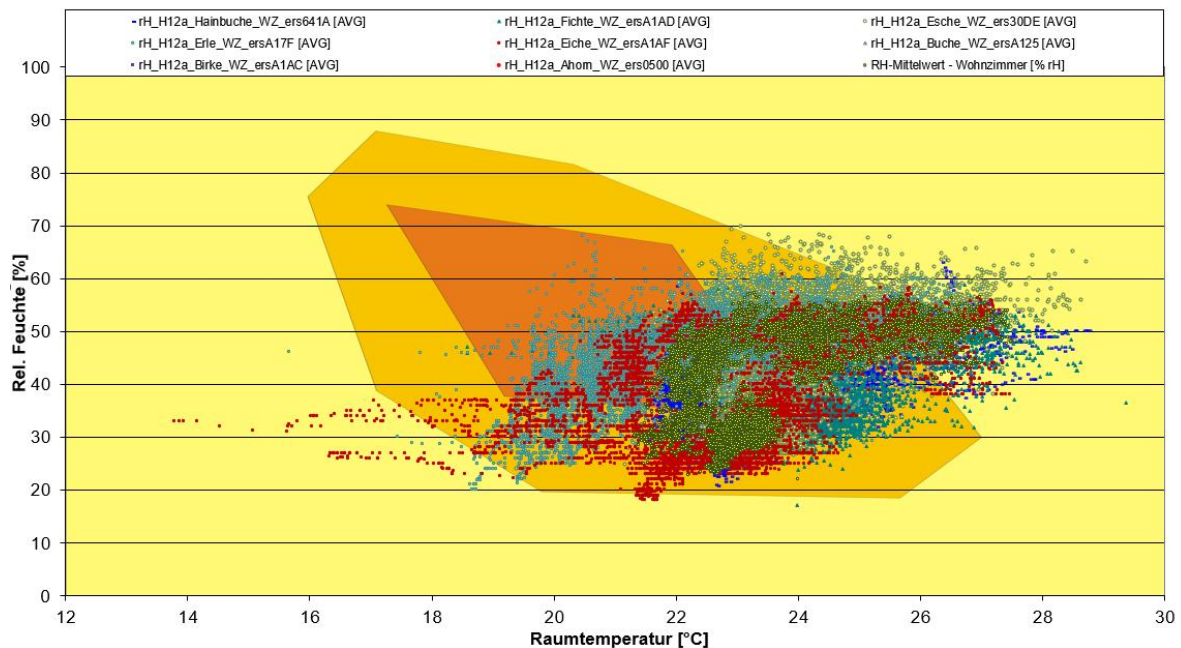


Abbildung 35: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufthtemperatur, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Stundenmittelwerte

Nach der Sanierung zeigen die Daten ein homogeneres Feuchte- und Temperaturniveau mit geringen Schwankungen. Raumfeuchten über 65% kommen nur vereinzelt vor. Jedoch kommt es in einer Wohnung an extrem kalten Tagen zu Raumlufthfeuchten von 20% rH. Diese Wohnung war in diesem Zeitraum nicht bewohnt und hatte somit keinen Feuchteeintrag.

Insgesamt bestätigt der Vergleich der beiden Abbildungen den erhöhten Komfort und die verbesserte Energieeffizienz sowie ein verringertes Schimmelrisiko des Gebäudes infolge der Sanierungsmaßnahmen. Die gleichmäßigeren Temperaturverläufe sind ein Indikator für eine reduzierte Abhängigkeit von kurzfristigen Außentemperaturänderungen und eine stabilere Innenraumtemperatur über den gesamten Untersuchungszeitraum.

Raumluchtfeuchte im Keller

Der kombinierte Temperatur- und Feuchtesensor im Keller befindet sich etwa in der Mitte des Kellers im Flur in einer Höhe von 1,8 m. Der Sensor liegt in einem Kellerbereich, der nicht an den Haustechnikraum grenzt und Abwärme nur von den Heizkreisverteilern erhält.

Die folgende Grafik zeigt die Temperatur- und Feuchteverläufe im Keller von Haus 12a sowie die entsprechenden Außenklimadaten für die kälteste Winterwoche im Januar 2026.

Winterwoche

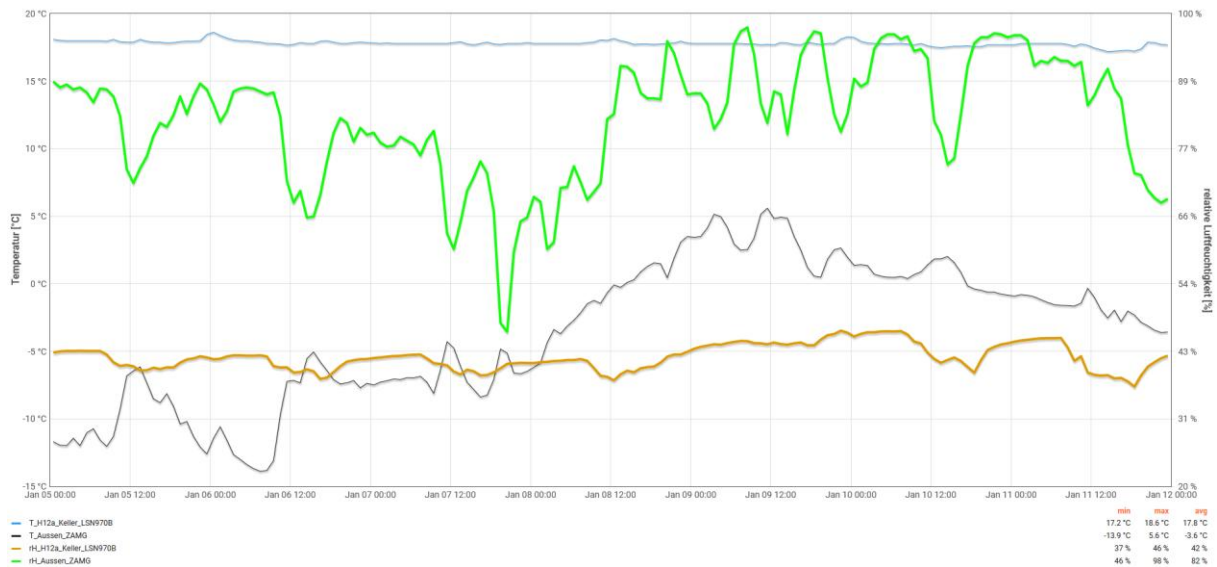


Abbildung 36: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche, Januar 2026, Halbstundenwerte

Die Kellertemperatur (blaue Linie) bleibt während des gesamten Zeitraums stabil bei 17,8°C und ist nahezu unbeeinflusst von den stark schwankenden Außentemperaturen (schwarze Linie), die zwischen -14 °C und +6 °C liegen. Auch die relative Luftfeuchte im Keller zeigt sich mit 37–46 %, im Mittel 42 % sehr konstant und liegt deutlich unter den Außenwerten (Mittelwert: 83 %).

Die Messdaten belegen, dass der Keller thermisch gut vom Außenklima entkoppelt ist und über eine stabile Raumluchtfeuchte verfügt. Die geringe relative Feuchte im Keller senkt das Risiko für Schimmelbildung und spricht für eine trockene, hygienisch unkritische Umgebung im Winter.

Jahresverlauf der relativen und absoluten Feuchte im Keller

Betrachtet man die relative Luftfeuchtigkeit im Keller, dargestellt durch die orange Linie und die rechte Diagrammachse, zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Sommerperioden 2025 und 2026. Im Sommer 2025 wurden im Keller noch Werte von über 70 % relativer

Luftfeuchtigkeit erreicht. Im Sommer 2026 lagen die gemessenen Werte hingegen nur noch im Bereich von etwa 60 % rH.

Die Kurven der absoluten Luftfeuchtigkeit zeigen den Zusammenhang noch deutlicher: Die blaue Kurve stellt die absolute Außenluftfeuchtigkeit dar, die türkise Kurve die absolute Luftfeuchtigkeit im Keller. Von September bis April liegt die absolute Außenluftfeuchtigkeit durchgehend unter jener der Kellerluft. Dadurch besteht in diesem Zeitraum ein gutes Trocknungspotenzial, da durch den Luftaustausch trockenere Außenluft in den Keller eingebracht wird.

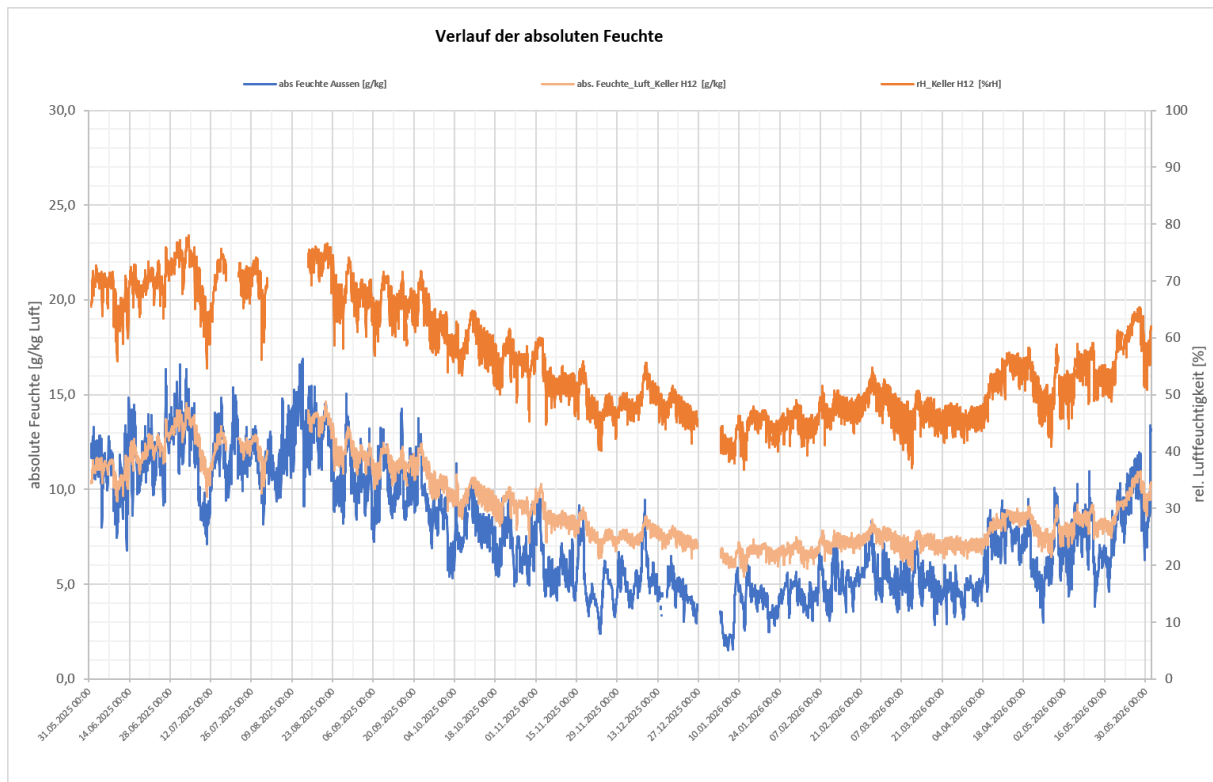


Abbildung 37: Haus 12a, Jahresverlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller

Besonders deutlich wird dieses Potenzial in der betrachteten kalten Winterwoche. In diesem Zeitraum weist die Außenluft absolute Feuchtwerte von etwa 1,5 bis 5,8 g/kg Luft auf, während die Kellerluft Werte zwischen 5,8 und 7,0 g/kg Luft erreicht. Durch die Abluftanlage im Keller, die unabhängig von der kontrollierten Komfortlüftung mit WRG betrieben wird, wird die feuchtere Kellerluft abgeführt, und durch trockenere Außenluft ersetzt. Dadurch kann die Kellerluft wirksam entfeuchtet werden. Auch die eingebrachte Baufeuchte, die im erstem Messjahr noch zu bedenklichen Raumluftheuchten im Keller geführt hat, wurde gut abgeführt.

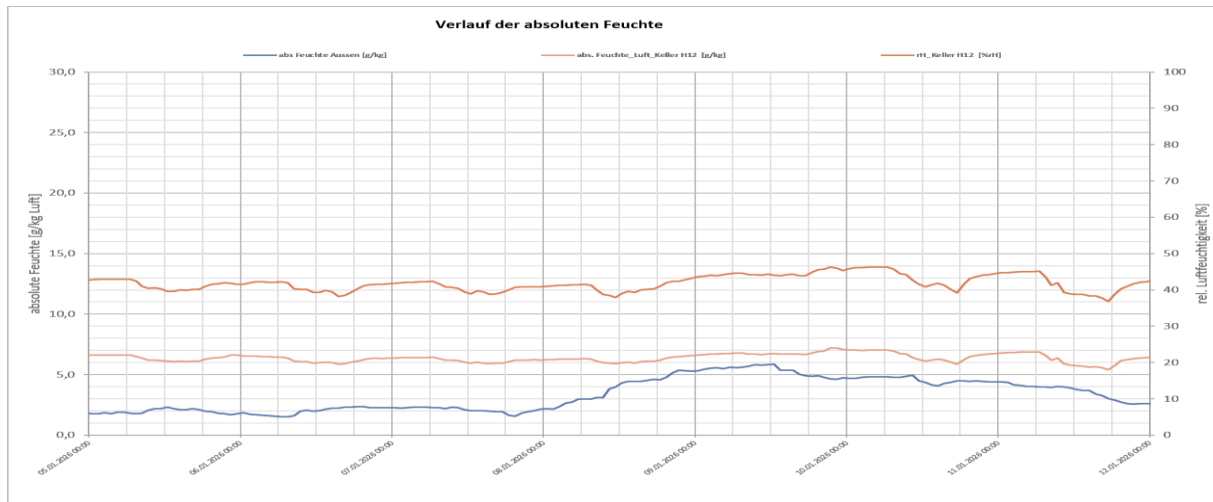


Abbildung 38: Haus 12a, Verlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller in einer kalten Winterwoche

Die beiden folgenden Diagramme zeigen ergänzend den Vergleich zwischen Sommer 2025 und Sommer 2026. Während im Sommer 2025 noch relative Luftfeuchten von über 70 % gemessen wurden, stieg die relative Luftfeuchtigkeit im Sommer 2026 nur noch auf Werte um etwa 60 % rF an.

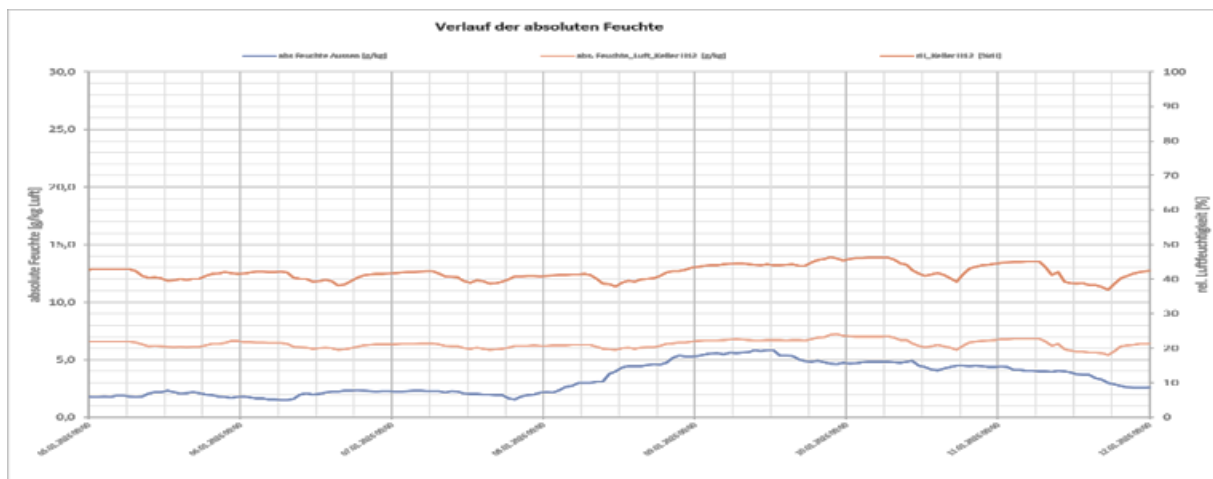


Abbildung 39: Haus 12a, Verlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller in der heißen Sommerwoche 2025

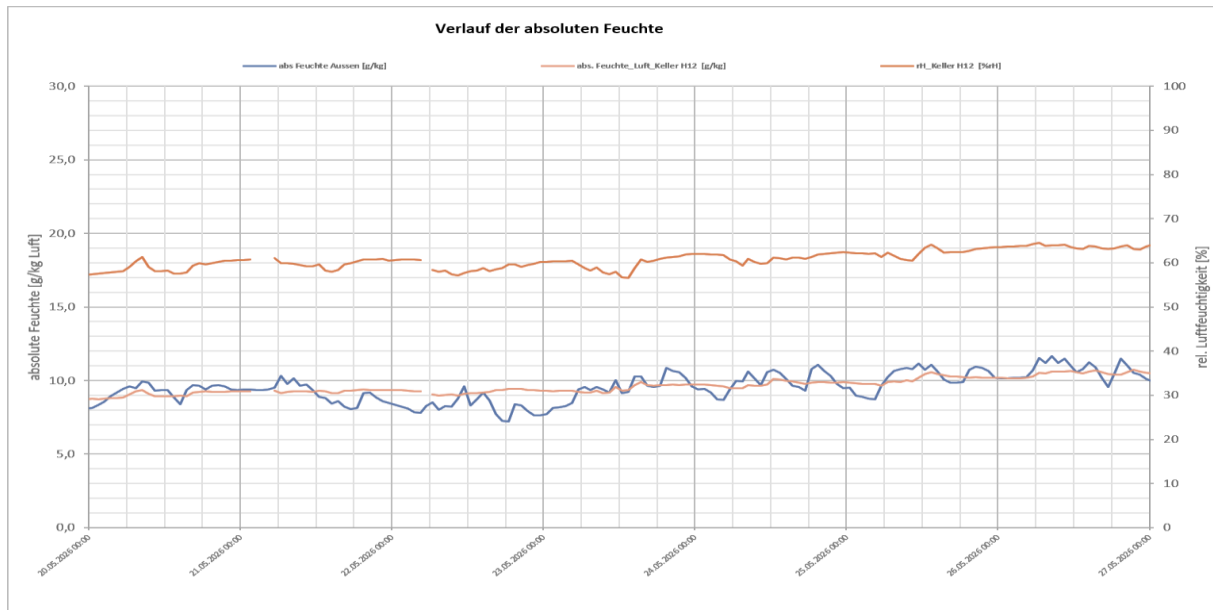


Abbildung 40: Haus 12a, Verlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller in der heißen Sommerwoche 2026

3.1.3 Kohlendioxidgehalt der Luft in den Wohnzimmern

Die folgende Abbildung zeigt den Kohlendioxidgehalt der Raumluft in den Wohnzimmern während des Messzeitraums von Juni 2025 bis Mai 2026. Für die zweite Messperiode nach der Sanierung liegen plausible Werte für 7 der 11 Wohnungen vor.

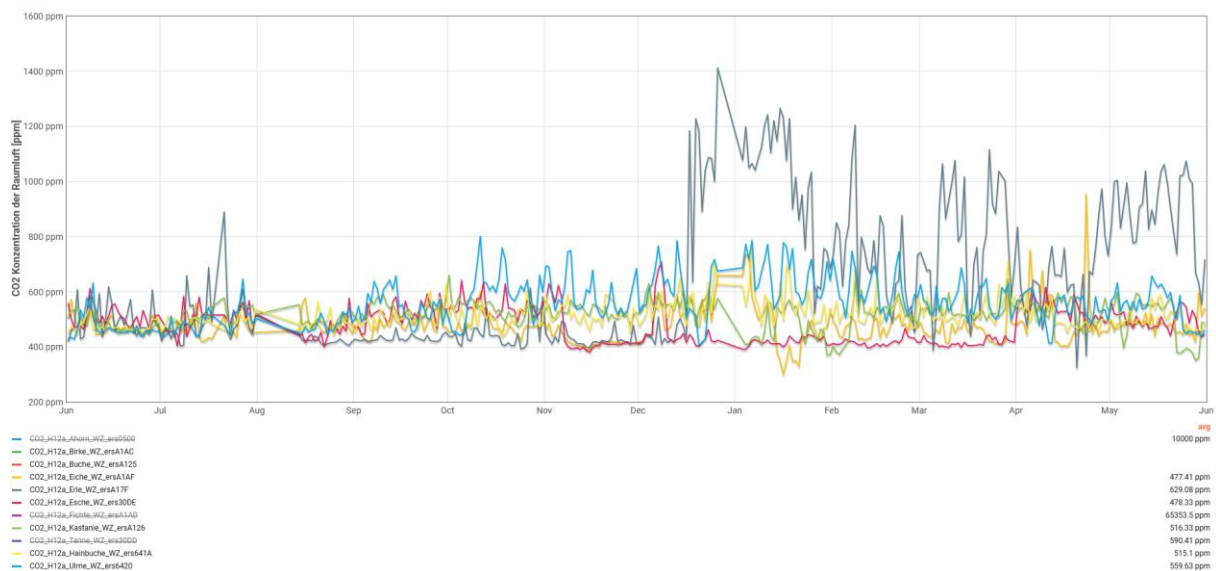


Abbildung 41: Haus 12a, CO₂-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte

Die mittleren CO₂-Jahreswerte der einzelnen Wohnungen bewegen sich zwischen ca. 480 und 630 ppm. Die meisten Wohnungen liegen im Tagesmittel nur geringfügig über dem typischen Außenluftwert von ca. 420 ppm.

Genauere Analysen erlauben die nachfolgend dargestellten Auswertungen für die kälteste Winter- und die wärmste Sommerwoche, in denen 1-Stunden-Mittelwerte dargestellt sind.

Winterwoche:

Die folgende Abbildung zeigt die CO₂-Konzentrationen in den Wohnzimmern in Haus 12a während der kältesten Winterwoche der zweiten Messperiode. Dargestellt sind die Werte der 7 Wohnungen, für die plausible Werte vorliegen.

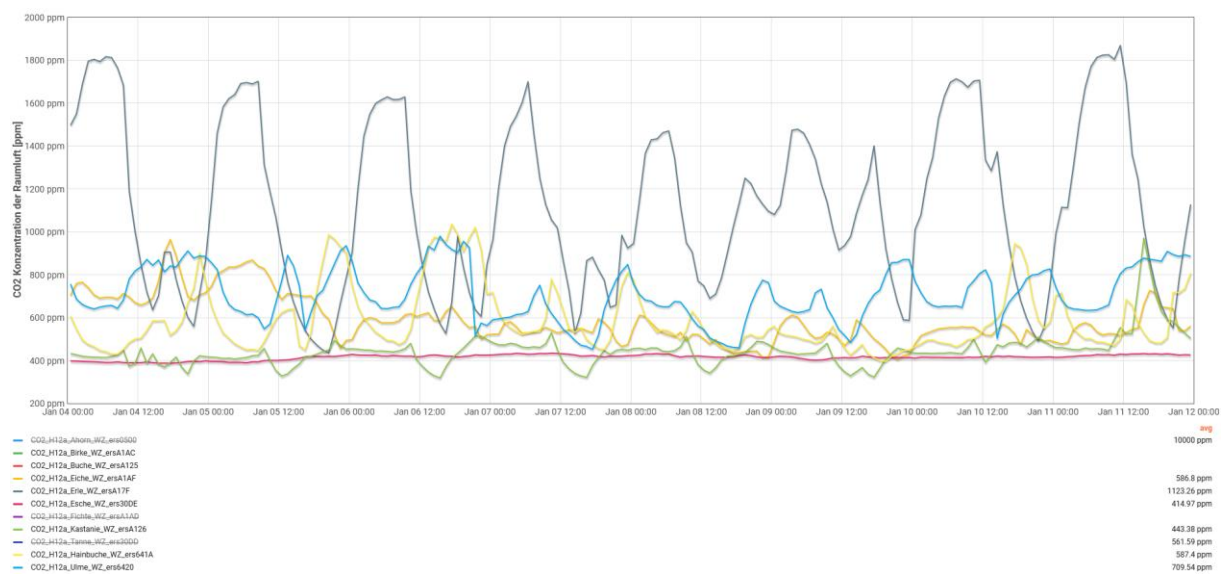


Abbildung 42: Haus 12a, CO₂-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, kälteste Winterwoche in der zweiten Messperiode, 1 Stunden-Mittelwerte

Der CO₂-Gehalt der Raumluft liegt in 5 der 7 Wohnungen in einem Band zwischen etwa 450 und 1.000 ppm. In diesen Wohnungen wird damit auch nach der leichten Reduktion des Luftvolumenstroms der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung im Dezember 2025 der Grenzwert der Klasse A für Schlafräume nach ISO 16000-41 erreicht. In einer Wohnung werden kurzzeitige Spitzen von bis zu 1.250 ppm erreicht. In einer Wohnung liegen die Tageshöchstwerte in der kältesten Winterwoche meist im Bereich zwischen 1.500 und 1.800 ppm. In der Nacht fällt die CO₂-Konzentration der Raumluft in dieser Wohnung sehr rasch auf den Wert von 500 bis 600 ppm ab. Da im gleichen Zeitraum die Raumlufthtemperatur bei ca. 23 °C sehr konstant verläuft, kann der Luftaustausch nur durch die Lüftungsanlage erfolgen.

Sommerwoche:

Die folgende Abbildung zeigt die CO₂-Konzentrationen während der wärmsten Sommerwoche in den Wohnzimmern der 7 Wohnungen in Haus 12a, für die plausible Messwerte vorliegen.

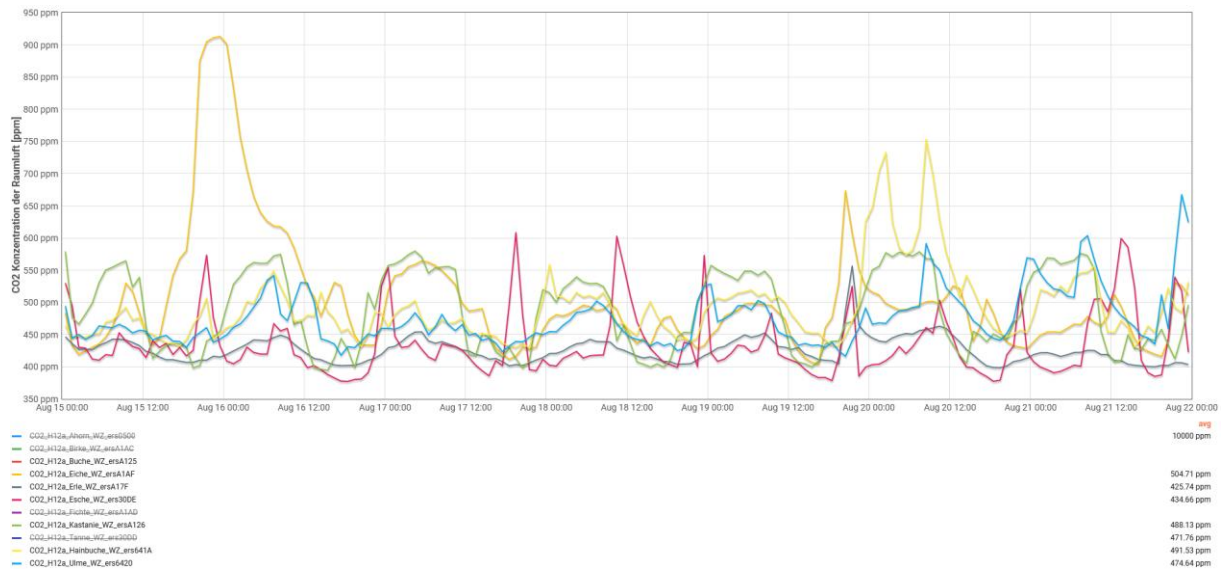


Abbildung 43: Haus 12a, CO₂-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, wärmste (verfügbare) Sommerwoche in der zweiten Messperiode, Stunden-Mittelwerten

In der wärmsten Sommerwoche lagen die CO₂-Konzentrationen fast immer unter 650 ppm. In einer Wohnung traten kurzfristige Spitzen von maximal 800 ppm auf. Die CO₂-Konzentration lag damit durchgängig in einem sehr guten Bereich. Ob dies ausschließlich auf den Luftaustausch über die Komfortlüftung zurückzuführen ist oder ob und in welchem Ausmaß die Bewohner zusätzlich über die Fenster lüfteten, ist nicht ablesbar.

3.1.4 Kaltwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Kaltwasserverbrauch der Wohnungen.

Kaltwasserverbrauch	Ahorn	Birke	Eiche	Erle	Esche	Fichte	Hainbuche	Kastanie	Tanne	Ulme	Summe/ Mittel
in m ³ pro Jahr	33,6	48,8	25,4	69,2	25,2	95,4	73,7	41,2	32,6	31,4	476,5
in Liter pro Tag	92,4	134,1	69,8	190,2	69,1	262,1	202,4	113,1	89,6	86,1	1308,9
mittlere Bewohnerzahl	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	12
in Liter pro Kopf/Tag	92,4	134,1	69,8	95,1	69,1	262,1	202,4	113,1	44,8	86,1	109,1

Tabelle 3: Haus 12a, Kaltwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung

Der mittlere pro-Kopf-Kaltwasserverbrauch liegt bei 109,1 Liter pro Person und Tag. Dieser Wert liegt um etwa 15% unter dem des ersten Messjahrs nach der Sanierung und knapp unter dem Median und dem Mittelwert in Mehrfamilienhäusern in Österreich (110 bzw. 116 Liter pro Person und Tag) (Neunteufel, 2024). Die pro-Kopf-Werte der einzelnen Wohnungen liegen zwischen 44,8 und 262,1 Liter pro Person und Tag.

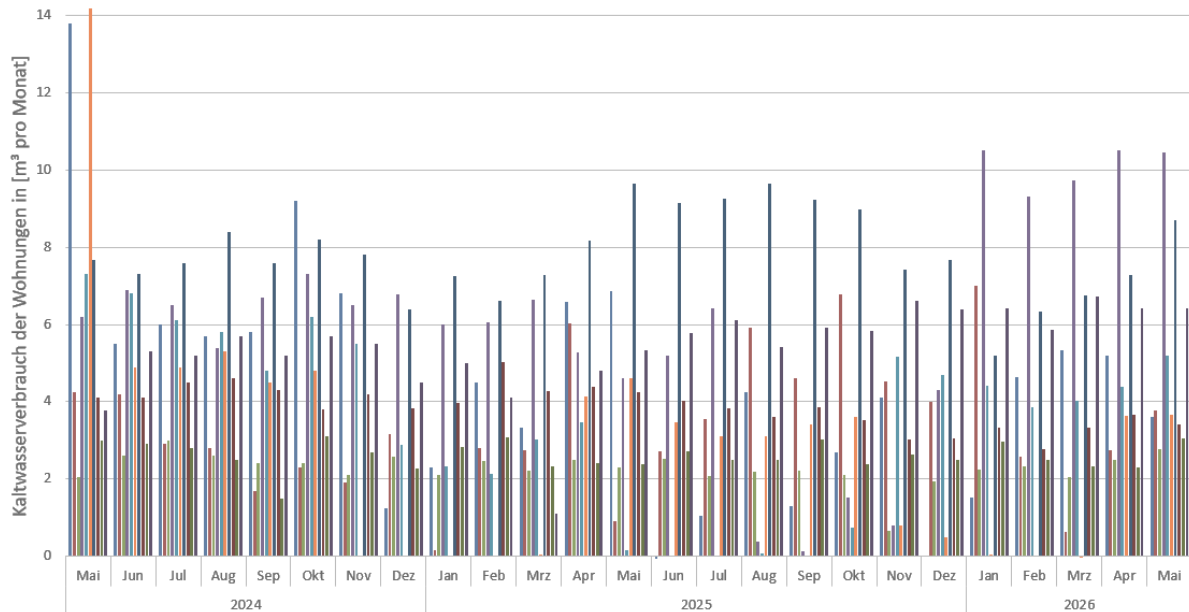


Abbildung 44: Haus 12a, Kaltwasserverbrauch der beiden Messjahre in m³ pro Monat

In Abbildung 44 sind die Monatsverbräuche des Kaltwassers für jede Wohnung in m³ pro Monat dargestellt. Der Mittelwert über alle Wohnungen schwankt zwischen 3,2 m³ pro Monat im Jänner 2025 und 5,3 m³ pro Monat im Oktober 2024.

3.1.5 Warmwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Warmwasserverbrauch der Wohnungen.

Warmwasserverbrauch	Ahorn	Birke	Eiche	Erle	Esche	Fichte	Hainbuche	Kastanie	Tanne	Ulme	Summe/ Mittel
in m³ pro Jahr	21,1	15,7	3,2	26,2	9,4	14,1	26,9	11,1	12,5	6,8	147,1
in Liter pro Tag	58,1	43,2	8,7	72,1	25,9	38,6	73,9	30,6	34,2	18,8	404,0
mittlere Bewohnerzahl	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	12
in Liter pro Kopf/Tag	58,1	43,2	8,7	36,0	25,9	38,6	73,9	30,6	17,1	18,8	33,7

Tabelle 4: Haus 12a, Warmwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung

Der jährliche Warmwasserverbrauch in Summe aller Wohnungen liegt bei 147,1 m³/a. Bei 12 Bewohnern entspricht dies 33,7 Liter pro Person und Tag. Der Wert des zweiten Jahres nach der Sanierung liegt um etwa 9% unter dem im ersten Jahr.

Zum Vergleich des personenspezifischen Verbrauchs von 33,7 Liter pro Person und Tag mit Literaturangaben muss der Wert noch umgerechnet werden, da die Literaturwerte sich auf eine Warmwassertemperatur von 60°C beziehen, die Temperatur im Projekt jedoch bei 46 bis 50°C liegt. Bei einer Kaltwassertemperatur von 10°C ergibt sich der Verbrauch V_{60} :

$$V_{60} = V_{48} \cdot \frac{48 - 10}{60 - 10}$$

Bei dieser Umrechnung ergibt sich ein personenspezifischer Verbrauch von 25,6 Liter pro Person und Tag an 60-gradigem Wasser. Dieser Wert liegt unter dem in der Verbrauchsprognoseberechnung verwendeten Wert von 32,5 Liter/Person pro Tag. In der folgenden Tabelle sind Vergleichswerte aus verschiedenen Quellen aufgeführt.

Quelle	Warmwasser in Liter/Person*Tag 60°C	Bemerkung
PHPP Standardannahme	25	
PHPP Verbrauchsprognose EIV	32,5	
IWU Standardnutzungsdaten		
EFH	35	
MFH	30	
VDI 2067		
niedrig	10 – 20	
mittel	20 – 40	
hoch	40 - 80	
SIA 380	ca. 32	14 kWh/(m ² _{BGF} , beh. a)

Tabelle 5: spez. Warmwasser-Bedarf (60°C) gemäß unterschiedlicher Quellen (Hasper, 2015)

In einer umfassenden Untersuchung der gemessenen Verbräuche von 370 Wohneinheiten mit mehr als 1.000 Bewohnern wurde ein mittlerer Warmwasserverbrauch von knapp über 24 Liter pro Person und Tag bei 60°C bestimmt (Hasper, 2015).

3.2 Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme

3.2.1 Endenergieverbrauch gesamt

In nachfolgender Tabelle sind die Messwerte des Endenergieverbrauchs für die Messperiode vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 dargestellt. Die Werte für Wärmepumpe, Heizstäbe, Verteilerpumpen und Regelung (MSR Siemens) liegen in zeitlich hoher Auflösung vor. Sie entsprechen in Summe dem vom Stromversorger VKW abgerechneten Stromverbrauch gemäß Zähler „Wärme“.

Der Verbrauch der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung wird nicht separat, sondern als Teil des VKW-Zählers Allgemeinstrom erfasst. Da die Komfortlüftung bis zum 01. Dezember 2025 konstant mit dem bei der Installation eigestellten Luftvolumenstrom betrieben wurde und seitdem ebenfalls konstant mit einem um 20% reduzierten Volumenstrom, kann der Verbrauch mit guter Genauigkeit aus der luftmengenspezifischen Leistungsaufnahme und dem jeweiligen Luftvolumenstrom gemäß Einregelungsprotokoll ermittelt werden. Der verbleibende Rest des

vom Allgemeinstromzähler erfassten Stroms entspricht dem Verbrauch der Abluftanlage im Keller, des Entfeuchtungsgeräts im Keller sowie der Beleuchtung der Allgemeinbereiche (Keller, Treppenhaus, Außenbeleuchtung).

Der Haushaltsstromverbrauch wird als Teil des AEE-Monitorings erfasst. Wegen temporärer Datenausfälle in einzelnen Wohnungen werden in der folgenden Tabelle keine Monatswerte, sondern nur der Jahreswert ausgewiesen. Dieser wurde anhand der VKW-Zählerstände validiert.

Verbrauch in kWh	Siemens-Zähler				VKW-Zähler Allgemeinstrom		VKW
	Wärmepumpe	Heizstäbe	Regelung	Verteilerpumpen	WRG	Allgemeinstrom	Haushaltsstrom
Jun 25	536	0	87	50	192	18	
Jul 25	573	0	90	52	198	12	
Aug 25	557	0	90	52	198	22	
Sep 25	658	0	87	84	192	18	
Okt 25	1 298	4	90	186	198	28	
Nov 25	1 671	990	87	178	192	81	
Dez 25	2 387	0	90	188	159	164	
Jan 26	2 074	611	90	185	159	210	
Feb 26	1 640	0	81	171	143	34	
Mar 26	1 609	0	90	186	159	25	
Apr 26	1 036	0	87	146	154	24	
Mai 26	621	0	90	70	159	23	
Summe	14 661	1 605	1 055	1 550	2 104	658	11 727
spez. Verbrauch in kWh/(m²_{WNFA})	22,9	2,5	1,6	2,4	3,3	1,0	18,3

Tabelle 6: Haus 12a, Endenergieverbrauch Haus 12a vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; VKW Zähler Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom

Der Jahresverbrauch der Wärmepumpe liegt bei 22,9 kWh/(m²_{WNFA}). Zusammen mit dem Verbrauch der Heizstäbe von 2,5 kWh/(m²_{WNFA}) ergibt sich ein Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 25,4 kWh/(m²_{WNFA}). Dies ist – vor Allem angesichts der mittleren Raumlufttemperatur von 22,4 °C in der Heizperiode - ein sehr niedriger Wert.

Auch der Verbrauch der Verteilerpumpen ist mit 2,4 kWh/(m²_{WNFA}) niedrig. Der Verbrauch der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung liegt mit 3,3 kWh/(m²_{WNFA}) aufgrund des leicht reduzierten Luftvolumenstroms geringfügig niedriger als im ersten Messjahr nach der Sanierung. Der Verbrauch der MSR liegt wie im ersten Messjahr bei 1,6 kWh/(m²_{WNFA}) und damit in einer nicht zu vernachlässigenden Größenordnung. Der Haushaltsstromverbrauch liegt im Mittel der Wohnungen bei 18,3 kWh/(m²_{WNFA}) und ist damit fast gleich hoch wie im ersten Jahr. Dies ist ein niedriger Wert, der jedoch nicht auf Effizienzmaßnahmen zurückzuführen ist, sondern auf die niedrige Belegungsdichte und eine – vermutlich - nicht überbordende Ausstattung mit Elektrogeräten. Der Allgemeinstromverbrauch liegt bei 1,0 kWh/(m²_{WNFA}).

In der folgenden Abbildung ist der Jahresverlauf des Endenergieverbrauchs grafisch dargestellt. Die Monatswerte des Haushaltsstroms sind nach der Anzahl der Tage pro Monat aus dem Jahreswert ermittelt.

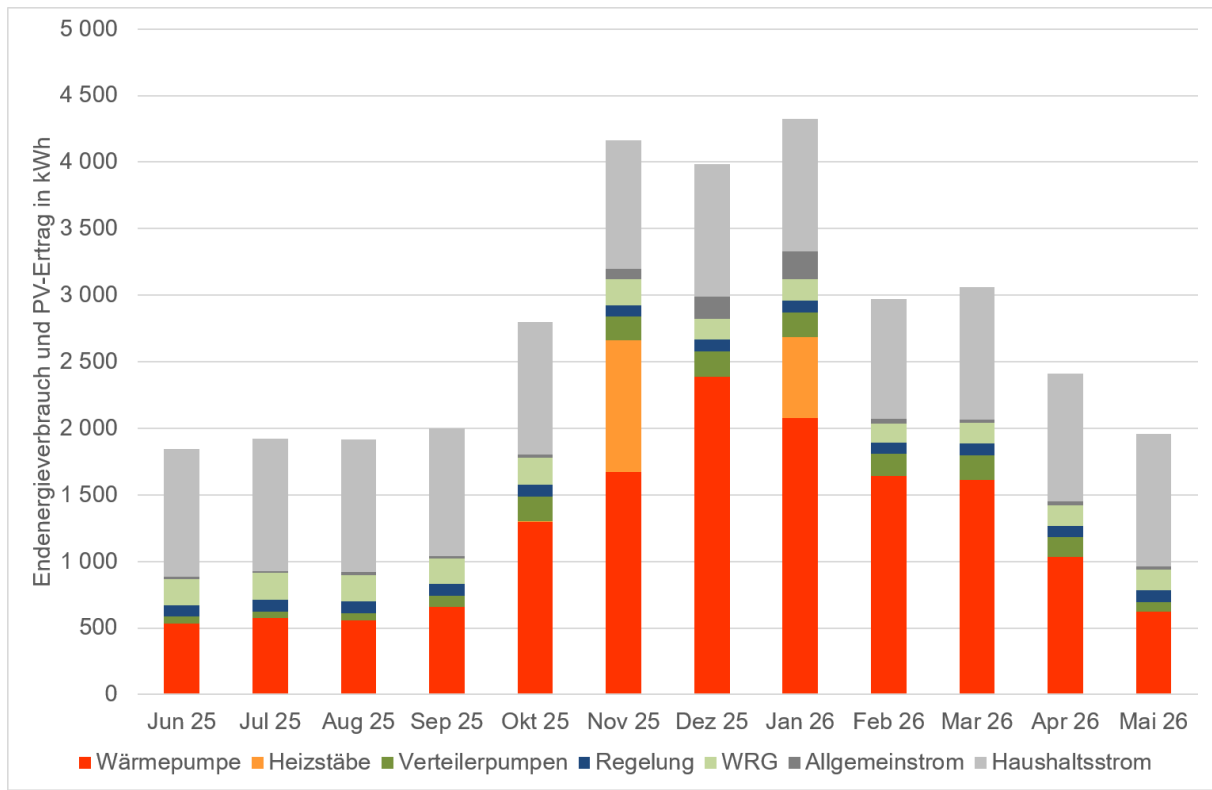


Abbildung 45: Haus 12a, Monatswerte des Endenergieverbrauchs vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; Techem Zähler Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom

Zur Einordnung sind die Jahresverbräuche lt. Monitoring in der folgenden Tabelle den entsprechenden Werten gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung gegenübergestellt.

Verbrauchsprognoseberechnung PHPP 10.6		Monitoring Juni 24 bis Mai 25		Monitoring Juni 25 bis Mai 26	
Nutzung nach Schätzung EIV		Nutzung real		Nutzung real	
Anwendung	kWh/(m ² _{WNF,a})	Anwendung	kWh/(m ² _{WNF,a})	Anwendung	kWh/(m ² _{WNF,a})
Haushalts- und Allgemeinstrom	20,3	Haushalt	18,5	Haushalt	18,3
		Allgemein	1,5	Allgemein	1,0
Hilfsstrom	8,0	Lüftung	3,7	Lüftung	3,3
		MSR	1,6	MSR	1,6
		Pumpen	1,6	Pumpen	2,4
Heizung + Warmwasser	21,0	Heizstab	3,1	Heizstab	2,5
		Wärmepumpe	22,5	Wärmepumpe	22,9
Summe	49,3	Summe	52,5	Summe	52,1

Tabelle 7: spezifischer Endenergieverbrauch erstes und zweites Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendungen in kWh/(m²_{WNF,a}) – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung, Haus 12a

Die Gegenüberstellung zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Monitoringwerte mit den vorab durchgeführten PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen. Die berechneten, sehr niedrigen Endenergieverbräuche wurden schon im ersten Betriebsjahr annähernd erreicht. Der Gesamtverbrauch in Summe aller Energieanwendungen liegt im zweiten Messjahr nach der Sanierung nur um 2,8 kWh/(m²_{WNFA}) oder 5,6% über dem vorab berechneten Wert. Der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser liegt um 4,4 kWh/(m²_{WNFA}) über dem Berechnungswert. Hauptgrund sind Zeiträume, in denen die Wärmeerzeugung durch die Elektroheizstäbe übernommen wurde. Eine genauere Analyse des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser erfolgt im folgenden Kapitel.

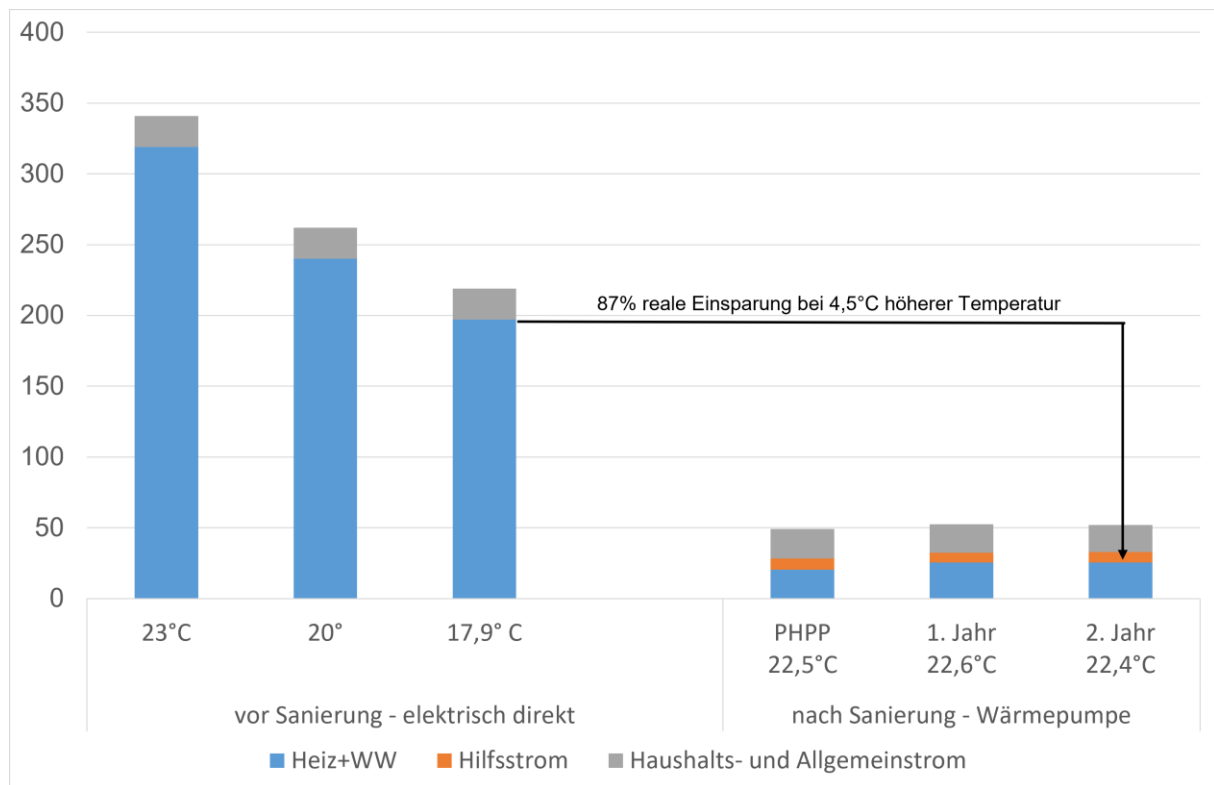


Abbildung 46: Haus 12a: Messwerte des spezifischer Endenergieverbrauchs im ersten und zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendungen im Vergleich zu den Werten des unsanierten Gebäudes mit Infrarotheizung bei verschiedenen mittleren Raumlufttemperaturen in der Heizperiode

Zur Einordnung der Verbrauchswerte nach der Sanierung zeigt Abbildung 46 einen Vergleich mit dem Verbrauch des unsanierten Gebäudes. Während das Gebäude in Realität vor der Sanierung von Wohnung zu Wohnung unterschiedliche, dezentrale Heizwärme-Versorgungssysteme hatte (Elektro-Speicherofen, Infrarotheizung, Holz-Einzelofen und Kombinationen der genannten Systeme), wurde für den Vergleich eine rein elektrische Beheizung über Infrarotheizungen angenommen. Der Verbrauch des unsanierten Gebäudes ist für drei mittlere Raumlufttemperaturen dargestellt: 23°C – der höchste Messwert einer Wohnung vor der Sanierung,

20°C als Standard-Annahme und 17,9°C – der vor Sanierung gemessene Mittelwert der Raumlufthtemperatur aller Wohnungen⁴.

Wie Abbildung 46 verdeutlicht, liegt der Messwert des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser im zweiten Messjahr nach der Sanierung um 87% unter dem Wert, den das unsanierte Gebäude bei der gemessenen Heizperioden-Mitteltemperatur von 17,9 °C und direktelektrischer Beheizung durch Infrarotpaneele gehabt hätte. Die Einsparung wird erzielt, obwohl die mittlere Raumlufthtemperatur während der zweiten Heizperiode nach der Sanierung mit 22,4 °C um 4,5 °C höher liegt als zuvor.

Der Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen liegt mit 52,1 kWh/(m²_{WNFA}) um 76% unter dem Wert von 219 kWh/(m²_{WNFA}) vor der Sanierung.

Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich des Endenergieverbrauchs hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen sowie hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Neubauten. Für das große SüdSan-Gebäude ist auch der Verbrauch vor Sanierung dargestellt. Bei allen Gebäuden handelt es sich um rein elektrisch betriebene Gebäude mit Wärmepumpenheizung.

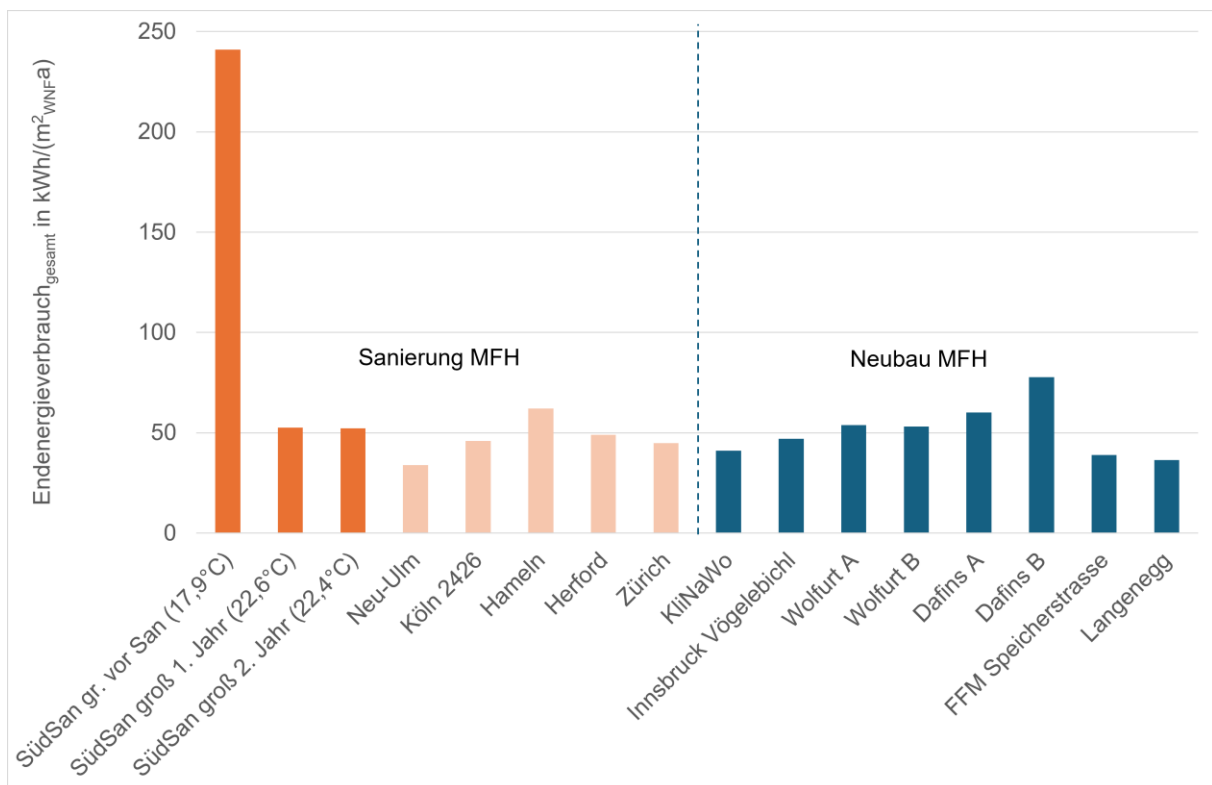


Abbildung 47: Endenergieverbrauch_{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und -Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}) (Ploss, 2024), (Ploss, 2022)

⁴ Genauere Erläuterungen zur Ermittlung des Verbrauchs vor Sanierung finden sich im Zwischenbericht (Ploss, 2025).

Der Endenergieverbrauch der besten Mehrfamilienhaus-Sanierungen – also ihr gesamter Verbrauch einschließlich Haushaltsstrom – liegt in einem Bereich von 46 bis 62 kWh/m²_{WNFA}). Der Verbrauch des Projekts in Neu-Ulm liegt mit ca. 34 kWh/(m²_{WNFA}) nochmals niedriger, unter anderem deshalb, weil alle Wohnungen nach der Sanierung mit hocheffizienten Haushaltsgeräten ausgestattet wurden.

Mit seinem Verbrauch von 52,5 kWh/(m²_{WNFA}) im ersten und 52,1 kWh/(m²_{WNFA}) im zweiten Messjahr nach der Sanierung gehört das große Gebäude im Projekt SüdSan zu den effizientesten Mehrfamilienhaus-Sanierungen im deutschsprachigen Raum.

Die Verbräuche der besten Sanierungen liegen nur unwesentlich über jenen der effizientesten Mehrfamilienhaus-Neubauten, die mit einer Ausnahme bei 36 bis 60 kWh/m²_{WNFA}) liegen.

3.2.2 Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe im Monitoringzeitraum vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 betrug 14.661 kWh. Dies entspricht einem auf die Wohnnutzfläche bezogenen, spezifischen Jahresverbrauch von 22,9 kWh/(m²_{WNFA}). Die folgende Grafik zeigt den Jahresverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe.

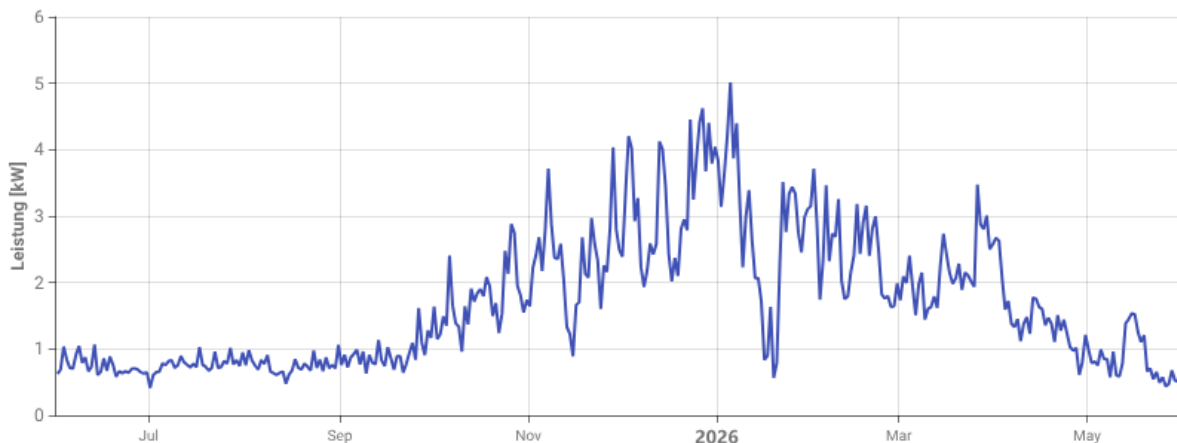


Abbildung 48: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Der höchste Tagesmittelwert der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe lag an einem Tag im Januar bei 5,02 kW.

Die folgende Abbildung zeigt die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe an den Tagen mit der höchsten Last als 15-Minuten-Mittelwerte.

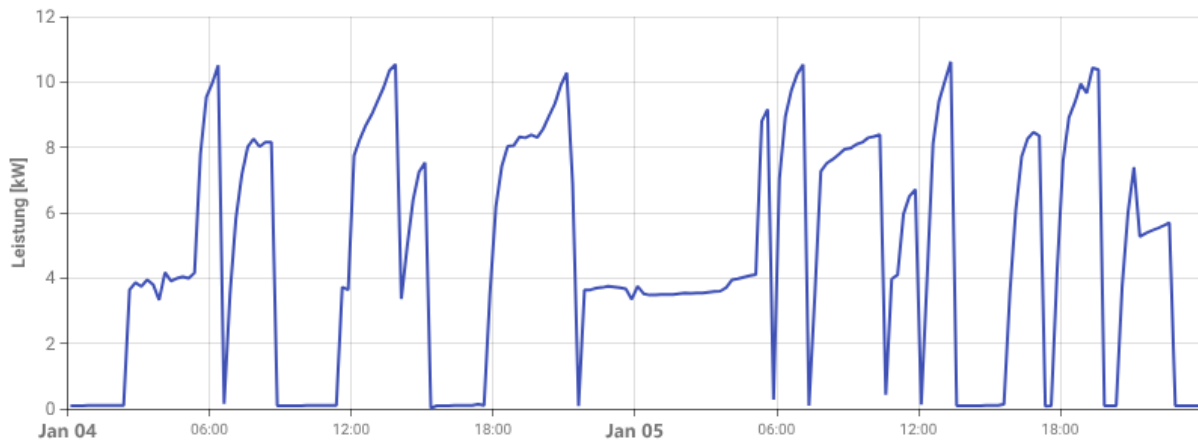


Abbildung 49: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Januar 2026, 15-Minuten-Mittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Die höchsten 15-Minutenwerte der Leistungsaufnahme traten am 04.01. und 05.01.2026 mit 10,5 kW auf. Dieser Wert ist aufgrund der deutlich niedrigeren Außenlufttemperaturen geringfügig höher als der Maximalwert im ersten Jahr, der bei 10,0 kW lag.

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und der elektrischen Heizstäbe.

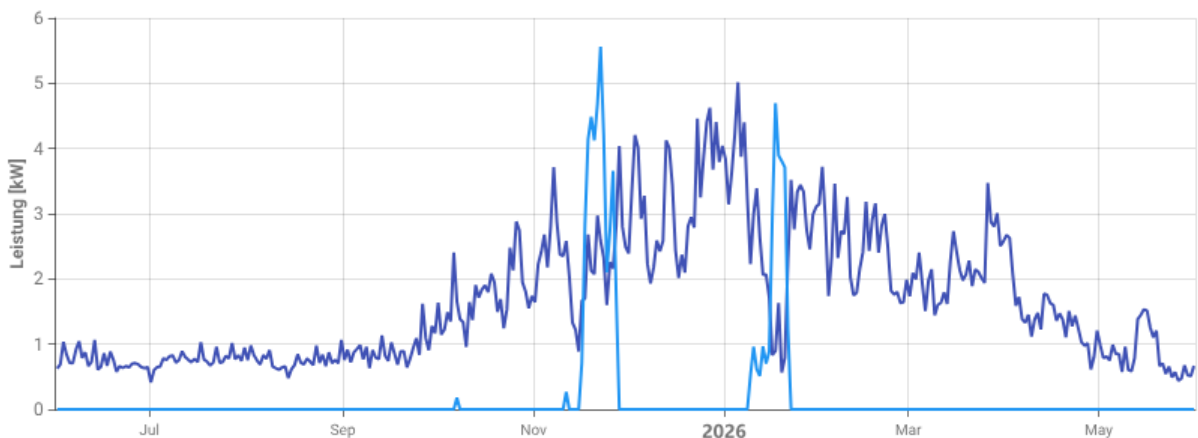


Abbildung 50: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Wie zu erkennen ist, waren die elektrischen Heizstäbe – wie bereits im ersten Betriebsjahr – zweimal über einen längeren Zeitraum in Betrieb. Anders als im ersten Jahr waren die Betriebszeiten der Heizstäbe nicht in Zeiten mit Ausfall der Wärmepumpe, sondern während des Betriebs der Wärmepumpe. Im Unterschied zum ersten Betriebsjahr fielen diese Betriebszei-

ten jedoch nicht mit Ausfällen der Wärmepumpe zusammen, sondern traten während ihres regulären Betriebs auf. Der ungewollte Betrieb der Heizstäbe war möglich, da diese auch im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung noch nicht in die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) eingebunden waren. Die Integration in die Gebäudeleittechnik erfolgte erst Ende Juni 2026.

Trotz der zweimaligen, ungewollten Inbetriebnahme der Heizstäbe übernimmt die Wärmepumpe den Großteil der Wärmeenergieerzeugung. Der Verbrauch der Heizstäbe betrug 1.605 kWh/a. Dies entspricht 2,5 kWh/(m²_{WNFA}), der spezifische Verbrauch der Wärmepumpe betrug 22,9 kWh/(m²_{WNFA}).

Der gesamte Stromverbrauch für die Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) aus Wärmepumpe und elektrischen Heizstäben betrug 16.266 kWh/a. Dies entspricht einem spezifischen Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 25,4 kWh/(m²_{WNFA}). Der Wert liegt damit praktisch auf dem Niveau des ersten Betriebsjahres nach der Sanierung (25,6 kWh/(m²_{WNFA})).

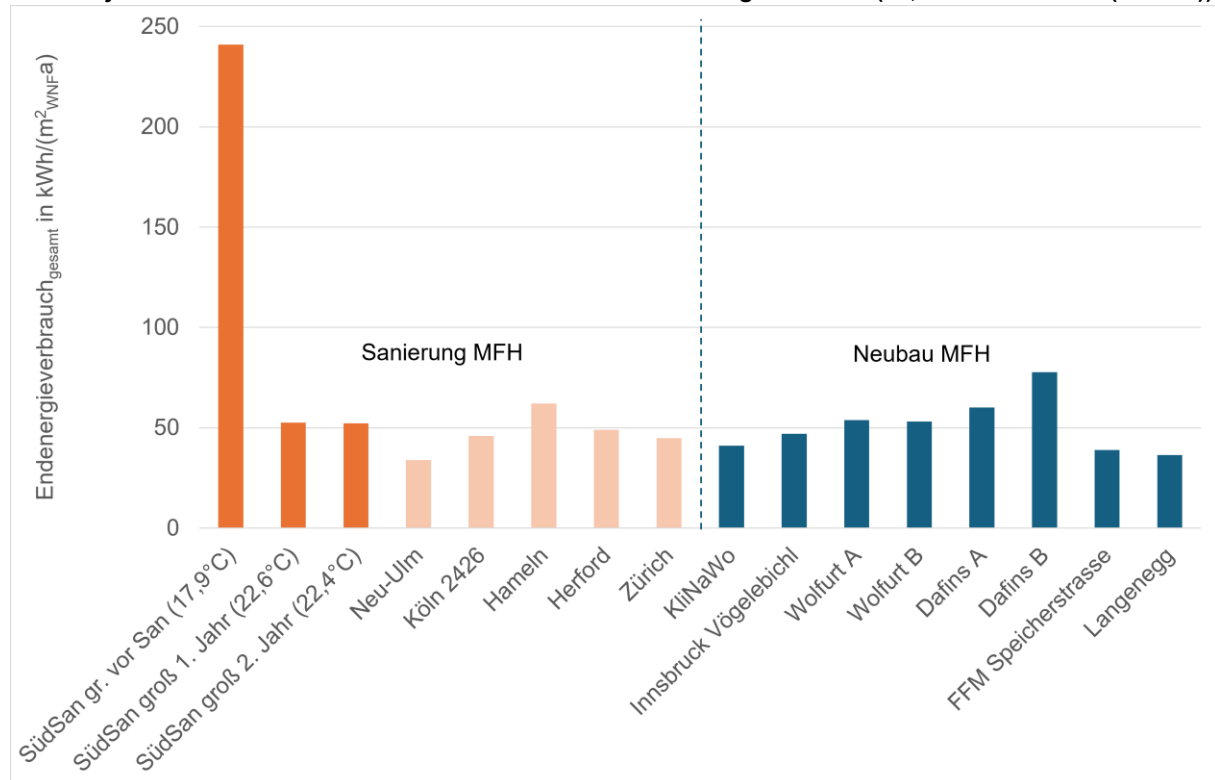


Abbildung 51 zeigt die Messwerte des Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen sowie hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Neubauten. Für das große SüdSan-Gebäude ist auch der Verbrauch vor der Sanierung dargestellt. Bei allen Gebäuden handelt es sich um rein elektrisch betriebene Gebäude mit Wärmepumpenheizung.

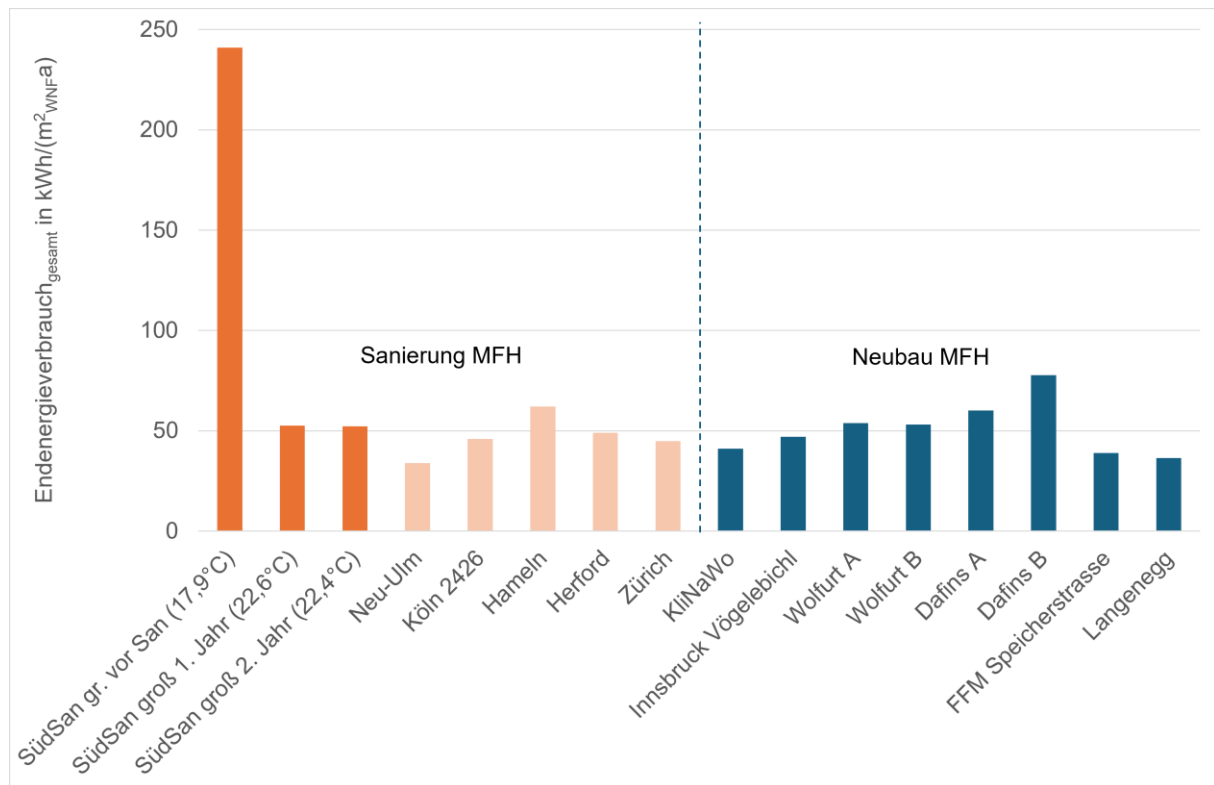


Abbildung 51: Endenergieverbrauch_{Heiz+WW} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}); (Ploss, 2024), (Ploss, 2022)

Der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser des großen SüdSan-Gebäudes lag im zweiten Jahr nach der Sanierung mit 25,4 kWh/(m²_{WNFA}) nur unwesentlich über den Verbräuchen der besten Mehrfamilienhaus-Neubauprojekte im deutschsprachigen Raum von ca. 10 bis 20 kWh/(m²_{WNFA}). Ein Sanierungsprojekt in Neu-Ulm erreicht mit 14,5 kWh/(m²_{WNFA}) einen nochmals deutlich besseren Wert als das SüdSan-Projekt.

Das SüdSan Gebäude erreicht im ersten und im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung annähernd die Anforderung für die Höchstpunktzahl im Kriterium Endenergieverbrauch des klimaaktiv-Katalogs Nutzung. Diese liegt bei 25 kWh/(m²_{WNFA}).

3.2.3 Endenergieverbrauch Hilfsstrom

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der Verteilerpumpen und der MSR gemeinsam mit der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und der elektrischen Heizstäbe.

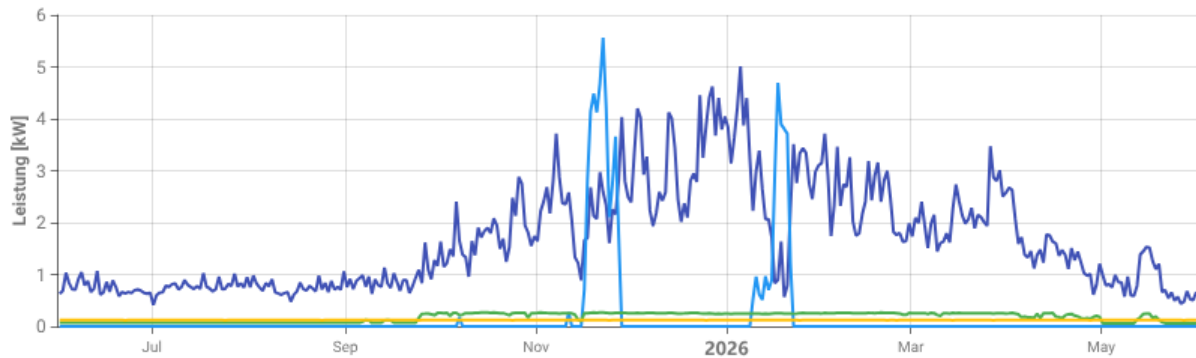


Abbildung 52: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Heizstäbe, Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Der Jahresverbrauch der Verteilerpumpen betrug 1.550 kWh/a bzw. 2,4 kWh/(m²_{WNFA}). Der Verbrauch der MSR betrug 1.055 kWh/a. Dies entspricht 1,6 kWh/(m²_{WNFA}).

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der Leistungsaufnahme der Verteilerpumpen und der Siemens-MSR in verändertem Maßstab.



Abbildung 53: Haus 12a, el. Leistung Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Während die MSR ganzjährig eine Leistungsaufnahme von 120 W hat, liegt die tagesmittlere Leistungsaufnahme der Pumpen im Sommer bei etwa 70 W und während der Heizperiode bei etwa 240 bis 260 W.

Der Verbrauch der Warmwasser-Umwälzpumpe kann aus den Monitoring-Werten für den Sommer bestimmt werden, da in dieser Zeit die Heizungsumwälzpumpe nicht in Betrieb ist. Im Sommer lag die Pumpenleistung konstant bei 70 W. Rechnet man diesen Wert auf das Jahr hoch, so ergibt sich ein Anteil von 613 kWh/a für die Warmwasser-Umwälzpumpe. Dies entspricht 0,96 kWh/m²_{WNFA}. Aus dem Gesamtverbrauch der Pumpen von 1.550 kWh/a kann der Verbrauch der Heizungsumwälzpumpe zu 937 kWh/a bestimmt werden. Dies entspricht 1,46 kWh/(m²_{WNFA}).

3.2.4 Endenergieverbrauch Haushalt

In der folgenden Tabelle sind die Messwerte des Haushaltsstromverbrauchs als wohnflächen-spezifische Werte der Wohnungen dargestellt.

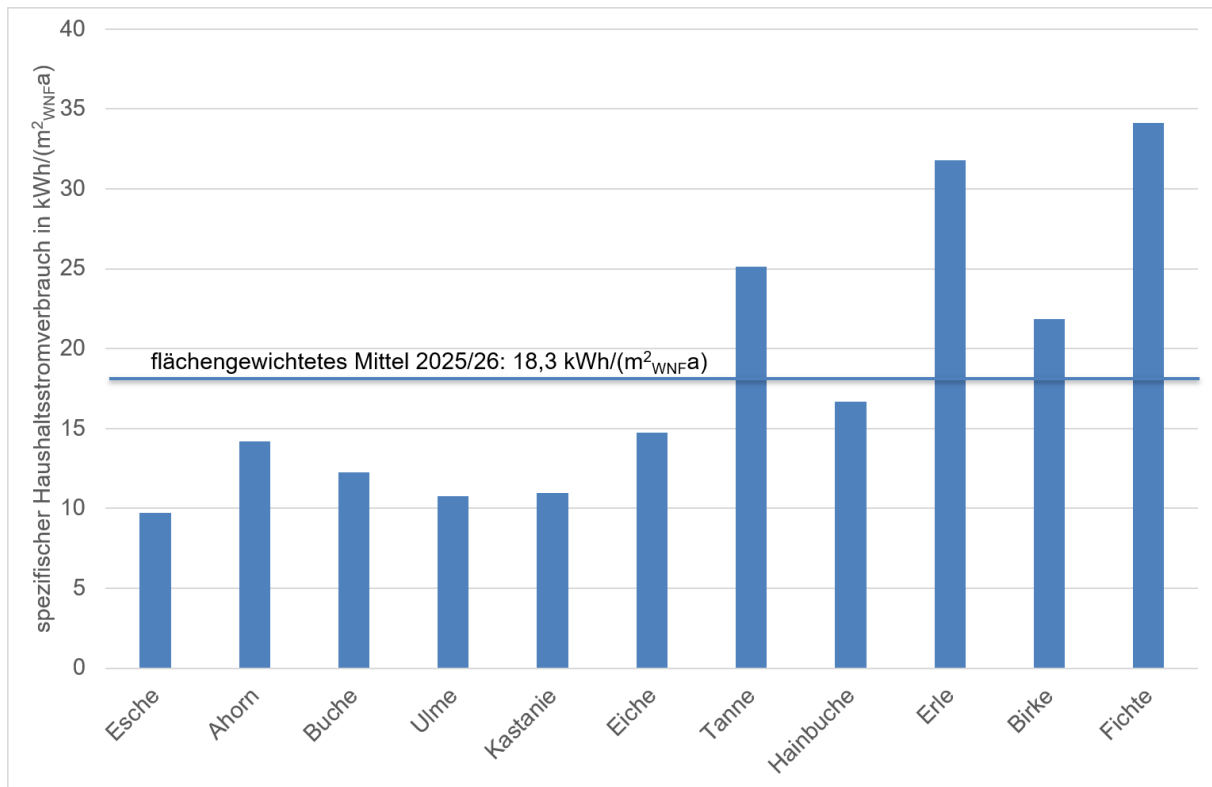


Abbildung 54: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Jahres-Haushaltsstroms der Wohnungen in kWh/(m²_{WNF}a); Haus 12a, 01. Juni 2025 bis 31. Mai 2026

Der Mittelwert des Jahres-Haushaltsstromverbrauchs liegt bei 1.066 kWh/(a). Dies entspricht einem flächenspezifischen Wert von 18,3 kWh/m²_{WNF}a). Dieser Verbrauch liegt um etwa 24% unter dem österreichischen Durchschnittsverbrauch von 11 Haushalten der gleichen Personenanzahl und ohne elektrische Heizung und Warmwasserbereitung. Dieser lag 2016 für den Mix an Haushaltsgrößen (10 Einpersonenhaushalte, ein Zweipersonenhaushalt) bei 24,0 kWh/(m²_{WNF}a) (Bittermann, 2018). Die Werte der einzelnen Wohnungen liegen bei 9,7 bis 34,1 kWh/(m²_{WNF}a).

Die flächenspezifischen Werte sind niedrig, da die Belegungsdichte der Wohnungen gering ist: zwar erhöhte sich die Bewohnerzahl im Vergleich zum ersten Messjahr nach der Sanierung nach einem Mieterwechsel von 12 auf 13 Personen. Die mittlere pro-Kopf-Wohnfläche ist jedoch mit 49,2 m²_{WNF} (erstes Jahr 53,2 m²_{WNF} pro Person) noch immer hoch. Der niedrigste Haushaltsstromverbrauch tritt in einer Wohnung auf, die für etwa 4 Monate beheizt war, aber nicht genutzt wurde.

3.2.5 Heizwärmeverbrauch Wohnungen

In der folgenden Tabelle sind die Jahreswerte des spezifischen Heizwärmeverbrauchs der 11 Wohnungen sowie der Mittelwert des Gesamtgebäudes dargestellt. Da die Werte in den Kellern gemessen werden, enthalten sie die den Großteil der Verteilverluste. Die vertikale Verteilung erfolgt wie die Wärmeabgabe in der Außenwand. Auch der Verlust der Wandheizung nach außen ist im Wert für den Heizwärmeverbrauch enthalten.

	spezifischer Heizwärmeverbrauch in kWh/(m ² _{WNFA})											
	Ahorn	Birke	Buche	Eiche	Erle	Esche	Fichte	Hainbuche	Kastanie	Tanne	Ulme	Mittelwert
Jun 25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul 25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aug 25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sep 25	0,6	1,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,0	0,9	0,3
Okt 25	5,1	6,8	3,5	1,4	0,8	0,0	1,5	4,1	1,5	0,5	3,9	2,7
Nov 25	7,2	10,1	5,6	2,7	6,5	0,0	3,0	5,4	2,0	6,8	5,7	5,0
Dez 25	10,9	10,2	8,4	4,0	6,3	0,1	4,1	6,2	1,0	9,1	6,5	6,1
Jan 26	9,9	8,2	8,9	3,6	2,1	0,0	4,1	6,0	1,2	8,6	7,1	5,4
Feb 26	6,4	8,2	6,3	2,3	0,7	0,0	2,6	4,5	0,3	4,2	4,8	3,7
Mar 26	6,5	7,3	9,3	2,3	0,5	0,0	2,5	4,8	0,0	2,7	4,4	3,7
Apr 26	3,1	2,8	3,9	1,1	0,0	0,0	1,0	2,2	0,0	1,4	1,7	1,6
Mai 26	1,6	1,3	1,8	0,4	0,0	0,2	0,5	0,9	0,0	0,3	0,2	0,7
Summe 2. Jahr	51,4	55,9	47,8	18,0	16,9	0,3	19,4	34,6	6,2	33,6	35,2	29,1

Tabelle 8: Haus 12a – Monatswerte des spezifischen Heizwärmeverbrauchs der Wohnungen, Juni 2025 bis Mai 2026; Quelle: Zähler Techem, Abruf über thingsboard

Der spezifische Jahres-Heizwärmeverbrauch des Gebäudes liegt bei 29,1 kWh/(m²_{WNFA}). Dies ist angesichts der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur vor 22,4 °C und im Vergleich zu anderen hocheffizienten Mehrfamilienhaussanierungen ein sehr niedriger Wert. Der Messwert liegt knapp unter dem Wert der auf die realen Nutzungsparameter des 2. Messjahres korrigierten Verbrauchsprognoseberechnung von 29,1 kWh/(m²_{WNFA}).

Der Hauptgrund für den im Vergleich zur Berechnung deutlich niedrigeren Heizwärmeverbrauch ist, dass die Wohnungen über die Verluste der Leitungen für die Warmwasserbereitung „vortemperiert“ werden. Die vertikale Verteilung für die Warmwasserbereitung erfolgt über drei Steigstränge, die in stillgelegten Kaminen geführt werden. Die Kamine sind mitten in der Wohnung angeordnet, so dass die Abwärme der Vertikalverteilung den Wohnungen zugutekommt. Lediglich die Verluste der Horizontalverteilung sind nicht als Heizwärme nutzbar, da die Verteilleitungen unter der Kellerdecke und damit im unbeheizten Bereich verlegt sind.

Die Gesamtverluste der Warmwasserverteilung betrugen 18,6 kWh/(m²_{WNFA}). Der Anteil der Verluste der etwa 25 m langen Horizontal-Verteilung im Keller kann auf etwa 30% der gesamten Warmwasser-Verteilungsverluste abgeschätzt werden, dies entspricht etwa 5,6 kWh/(m²_{WNFA}). Damit verbleiben ca. 13,0 kWh/(m²_{WNFA}) an Verlusten im beheizten Bereich.

Q WW Gesamt (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	18437	[kWh/a]	28,8	[kWh/m ² a]
Q WW Verluste (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	11916	[kWh/a]	18,62	[kWh/m ² a]
Q WW Verbrauch (an Zapfstelle)	6522	[kWh/a]	10,19	[kWh/m ² a]

Tabelle 9: Warmwasserverbrauch an Zapfstellen und Wärmeströme Warmwasser ab Speicher bis Übergabestation – zweites Messjahr vor Einstellung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026

Etwa die Hälfte dieser Verteilverluste tritt in der Heizperiode auf, erhöht die internen Wärmequellen und reduziert so die notwendige aktive Wärmeabgabe durch die Wandheizung. Der Ausnutzungsgrad für freie Wärme (solare Gewinne und interne Wärmequellen) während der Heizperiode liegt gemäß PHPP bei annähernd 100%.

Damit trägt etwa die Hälfte der im beheizten Gebäudebereich anfallenden Verteilverluste der Warmwasserverteilung von $13,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ als nicht beeinflussbare Abwärme zur Beheizung der Gebäude bei. Dieser Anteil entspricht $6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der außerhalb der Heizperiode im beheizten Gebäudebereich anfallende, nicht nutzbare Anteil der Verluste der Warmwasserverteilung beträgt damit $6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Der um die nutzbaren Anteile der Warmwasser-Verteilverluste korrigierte Heizwärmeverbrauch beträgt $29,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}}) + 6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}}) = 35,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Dieser Wert liegt über dem in der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Wert von $30,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Der nicht nutzbare Anteil der Warmwasser-Verteilverluste setzt sich aus den ganzjährig im Keller anfallenden Verlusten in Höhe von $5,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und den außerhalb der Heizperiode anfallenden Verlusten im beheizten Gebäudebereich in Höhe von $6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ zusammen. Insgesamt fallen also $12,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ an nicht nutzbaren Warmwasser-Verteilverlusten an.

Die Verteilverluste sind damit auch im zweiten Betriebsjahr relativ hoch. Sie wurden erst durch die Einregulierung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026 reduziert. Nach dieser Maßnahme fielen die gesamten Warmwasserbereitungsverluste im Netz schlagartig um 25% von $18,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ auf knapp $14 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ ab. Damit fallen die nicht nutzbaren Warmwasser-Verteilverluste auf $11,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Q WW Gesamt (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	17765	[kWh/a]	27,76	[kWh/m²a]
Q WW Verluste (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	8939	[kWh/a]	13,97	[kWh/m²a]
Q WW Verbrauch (an Zapfstelle)	8826	[kWh/a]	13,79	[kWh/m²a]

Tabelle 10: Warmwasserverbrauch an Zapfstellen und Wärmeströme Warmwasser ab Speicher bis Übergabestation – zweites Messjahr nach Einstellung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026

Zur Einordnung des gemessenen Heizwärmeverbrauchs zeigt die folgende Abbildung einen Vergleich mit den Messwerten anderer hocheffizienter Sanierungsprojekte. Neben dem Heizwärmeverbrauch ist auch die mittlere Raumlufttemperatur in der Heizperiode aufgetragen (Großklos, 2023), ergänzt um Werte für das große SüdSan Gebäude für die beiden ersten Jahre nach der Sanierung. Der Wert für das Projekt SüdSan entspricht der Wärmemenge in Summe der Wärmemengenzähler der Einzelwohnungen. Er enthält also nicht den oben beschriebenen nutzbaren Anteil der Verteilverluste der Warmwasserverteilung, dafür jedoch die Verluste der vertikalen Heizwärmeverteilung, die in der neuen Fassade aus gedämmten, teilvorgefertigten Holzelementen erfolgt.

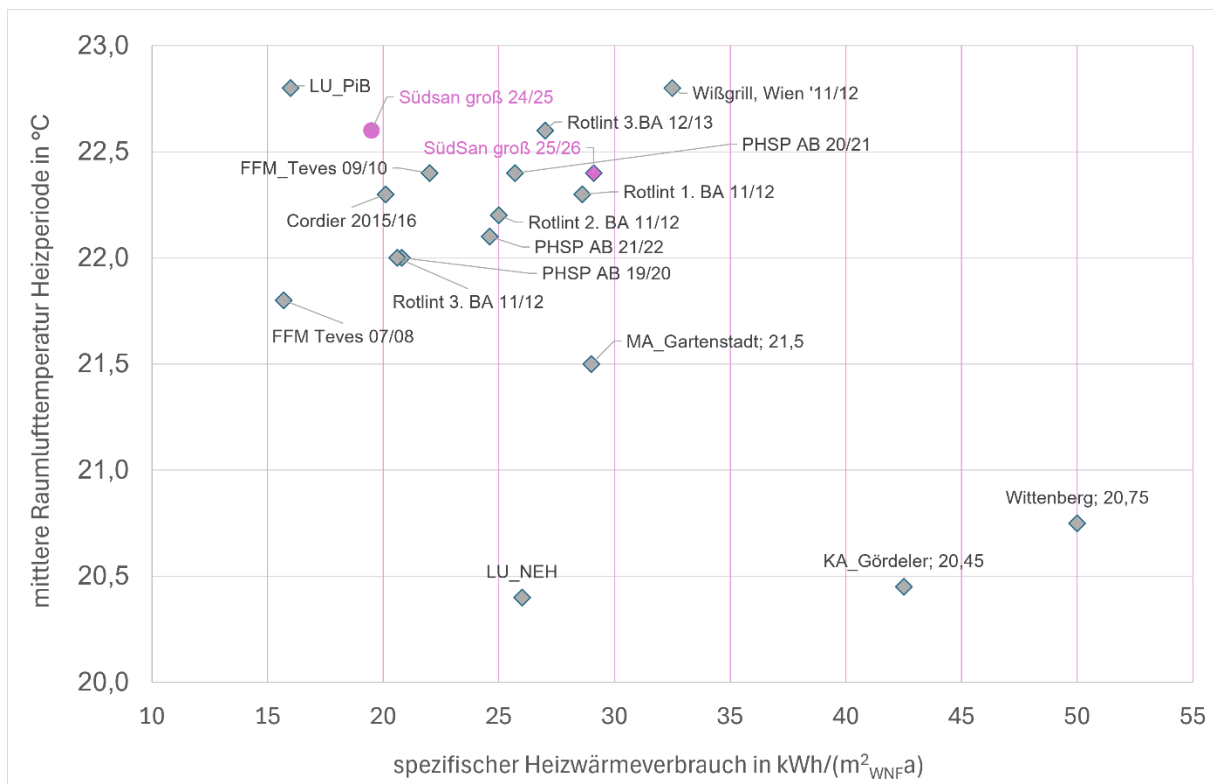


Abbildung 55: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), ergänzt um Projekt SüdSan groß

Der Heizwärmeverbrauch des großen SüdSan-Gebäudes gehört mit 19,8 kWh/(m²_{WNFA}) im ersten und 29,1 kWh/(m²_{WNFA}) im zweiten Messjahr zu den niedrigsten Werten von Mehrfamilienhaus-Sanierungen im deutschsprachigen Raum.

Diese liegen bei 16 bis 30 kWh/(m²_{WNFA}), obwohl die mittleren Heizperiodentemperaturen der Gebäude mit wenigen Ausnahmen mit 21,5 bis 23 °C hoch sind.

Die folgende Abbildung 56 zeigt den aufsteigend sortierten, spezifischen Heizwärmeverbrauch der Wohnungen im großen SüdSan-Gebäude für das erste und zweite Jahr nach der Sanierung. Die Sortierung erfolgt nach dem Verbrauch im ersten Jahr.

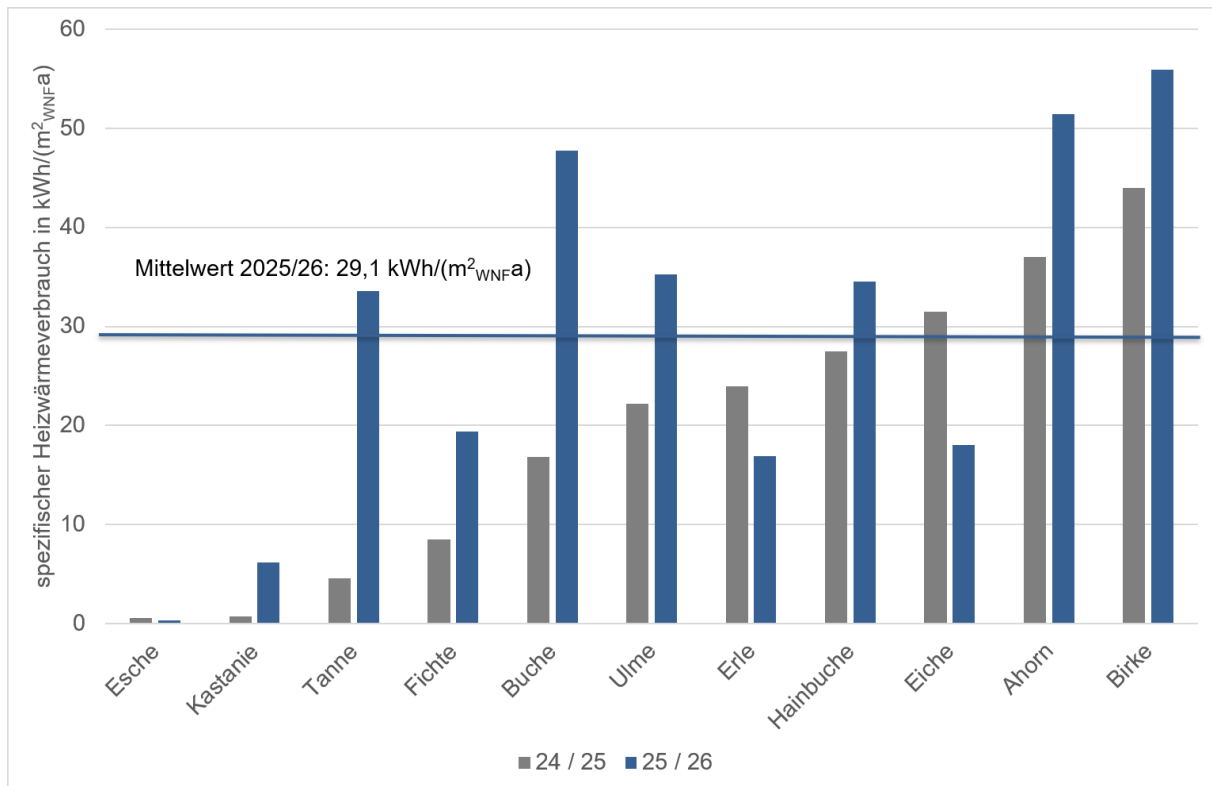


Abbildung 56: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2004 bis Mai 2025 in kWh/(m²_{WNFA}); aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem

Die Werte der einzelnen Wohnungen liegen zwischen 16,9 und 55,9 kWh/(m²_{WNFA}), zwei Wohnungen haben mit 0,3 bis 6,2 kWh/(m²_{WNFA}) einen nochmals geringeren Wärmeverbrauch. Bei einer der Wohnungen handelt es sich um eine Sandwichwohnung mit nur einer Außenwand als Wärmeverlustfläche. Diese Wohnung hat eine überdurchschnittliche Temperatur von 23,3 °C während der Heizperiode. Die Wohnung mit dem niedrigsten Verbrauch von 0,3 kWh/(m²_{WNFA}) hat keine Verluste nach oben und unten („Sandwich-Wohnung“) und eine leicht unterdurchschnittliche mittlere Heizperiodentemperatur von 20,7 °C.

Die folgende Abbildung gleicht Abbildung 56, zusätzlich sind die mittleren Raumlufttemperaturen der Wohnungen in der Heizperiode und ihre Lage im Gebäude sowie die Orientierung dargestellt.

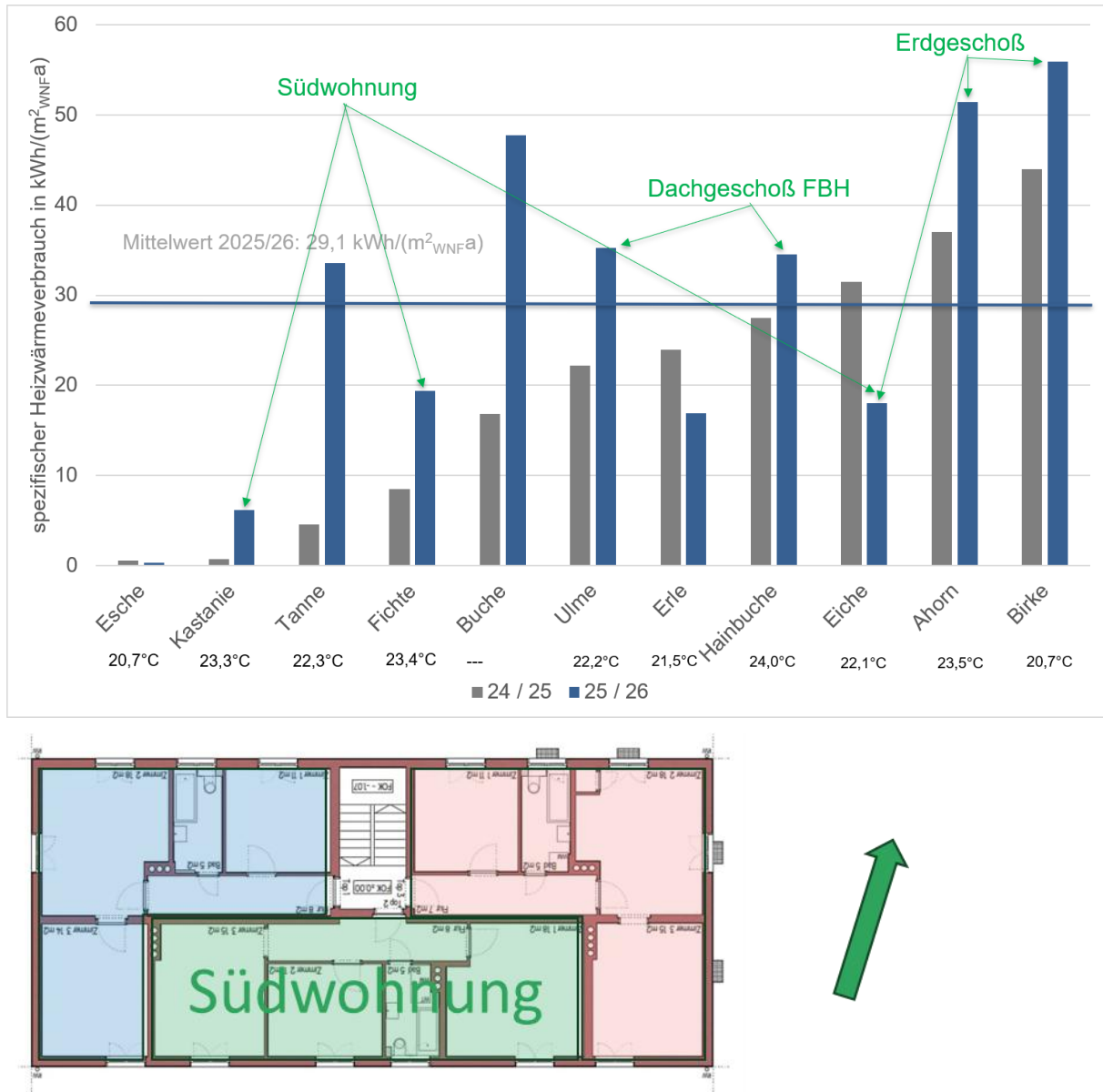


Abbildung 57: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2025 bis Mai 2026 mit räumlicher Zuordnung; aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem

Die Abbildung verdeutlicht, dass die südorientierten Wohnungen – die im Vergleich zu den übrigen Wohnungen zugleich über eine geringere wärmeabgebende Hüllfläche verfügen – erwartungsgemäß die niedrigsten Heizwärmeverbräuche pro Geschoss aufweisen. Ebenfalls erkennbar ist, dass die Wohnungen im Erdgeschoss aufgrund der zusätzlichen Wärmeverluste zum Keller tendenziell höhere Verbräuche aufweisen.

Abbildung 58 zeigt den Jahresverlauf des spezifischen Heizwärmeverbrauchs des Gesamtgebäudes im zweiten Messjahr nach der Sanierung. Sie verdeutlicht, dass der weitaus größte Anteil des Heizwärmeverbrauchs in den Monaten Oktober bis März anfiel. Außerhalb dieses Zeitraums wurden lediglich 2,5 kWh/(m²WNFa) bzw. 9 % des jährlichen Heizwärmeverbrauchs benötigt.

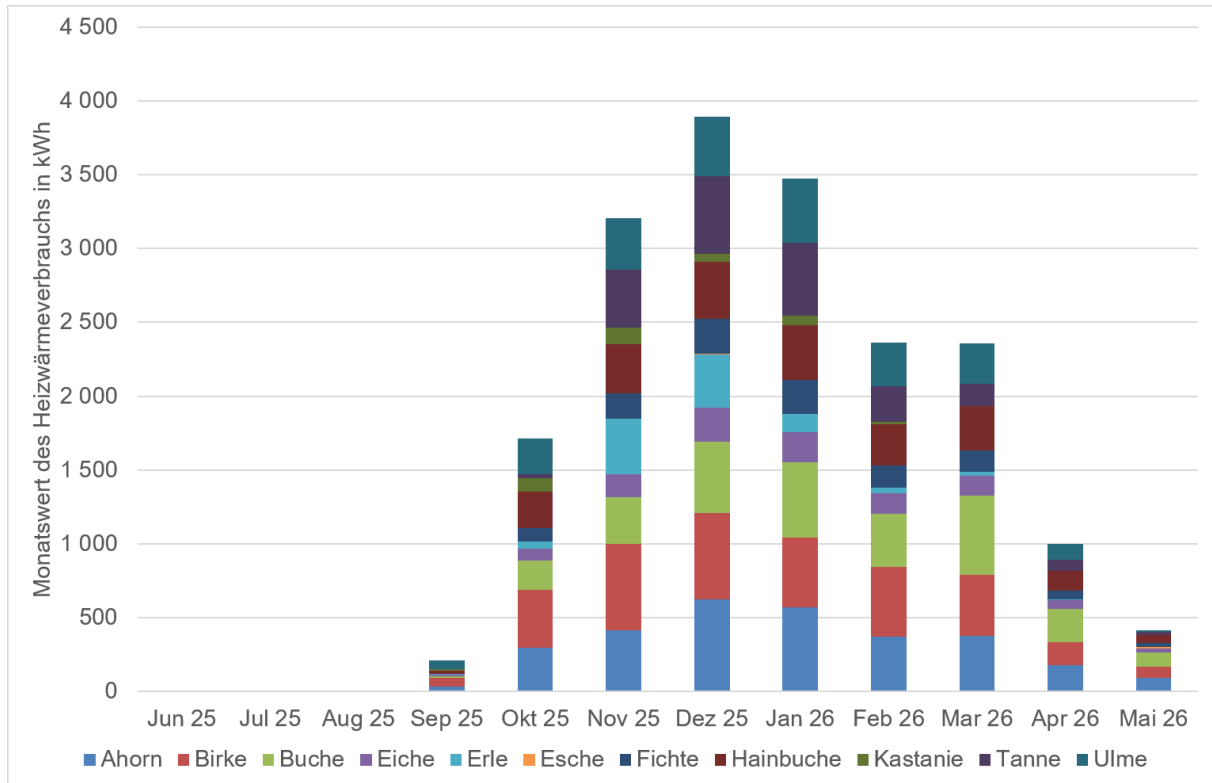


Abbildung 58: Haus 12a, Heizwärmeverbrauch Juni 2025 bis Mai 2026, Monatswerte in kWh; Quelle: Zähler Techem

3.2.6 Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme)

Tabelle 9: Warmwasserverbrauch an Zapfstellen und Wärmeströme Warmwasser ab Speicher bis Übergabestation – zweites Messjahr vor Einstellung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026 zeigt den Warmwasserverbrauch und die Verluste der Warmwasserbereitung vom Pufferspeicher bis zu den Brauchwasserübergabestationen. In Tabelle 10 wurden die Verteilverluste von 21.4.2026 bis 31.5.2026 erfasst und auf das 2. Messjahr hochgerechnet. Durch diese Maßnahme konnten die Verteilverluste um 25% gesenkt werden. Diese Tabellen wurden schon im Kapitel 3.2.5 dargestellt.

Am 20.4.2026 erfolgte die Einregulierung der Zirkulationsbrücken in den Brauchwasserbereitungsstationen. Eine genaue Beschreibung der messtechnischen Erfassung und der Verteilverluste erfolgt in Kapitel 3.2.8.

3.2.7 Effizienz der Wärmeerzeugung

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der modulierenden Luft-Wärmepumpe und der Heizstäbe sowie ihre Wärmeabgabe. Dargestellt sind Tagesmittelwerte.

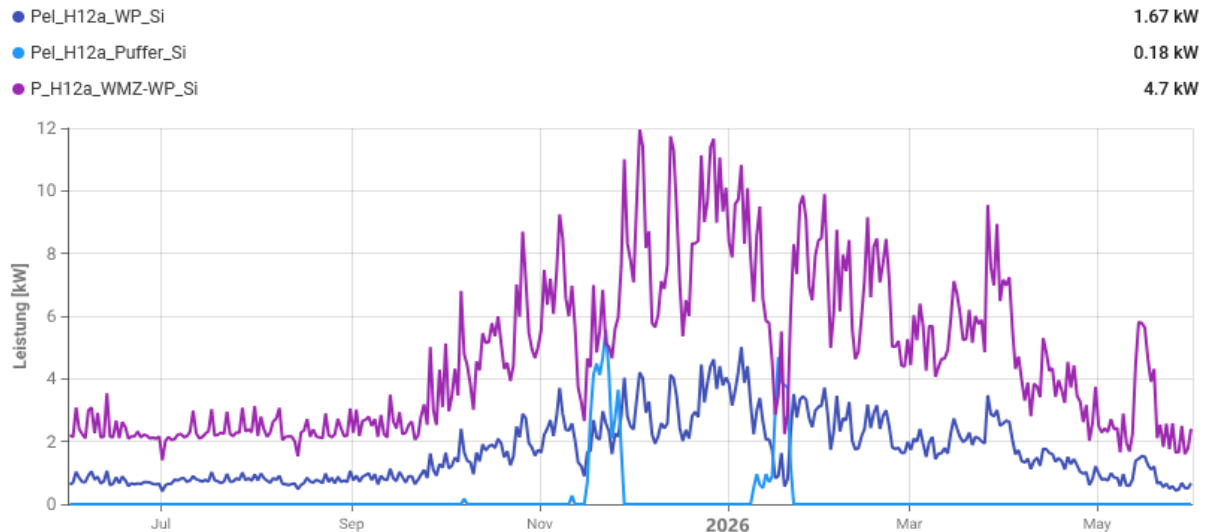


Abbildung 59: Haus 12a, Leistungen modulierende Luft-Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: MSR Siemens; violett: Wärmeabgabe Wärmepumpe; dunkelblau: el. Leistung Wärmepumpe; hellblau: el. Leistung Heizstäbe

Der Endenergieverbrauch für die Wärmepumpe beträgt $22,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, der der Heizstäbe $2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, in Summe also $25,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der Wärmeoutput der Wärmepumpe beträgt 41.172 kWh/a , dies entspricht $64,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Tabelle 11 zeigt die Jahres- und die Monatsarbeitszahlen der Wärmeerzeugung. Diese wurde aus dem Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Heizstäbe auf der einen und ihrer thermischen Wärmeabgabe auf der anderen Seite berechnet. Datenquelle sind die Siemens-Strom- und Wärmemengenzähler. Zum Vergleich sind auch die Werte der Wärmepumpe ohne Heizstäbe dargestellt.

	therm. Energie WP Output	Verbrauch Heitstäbe el.	Verbrauch WP el.	Arbeitszahl WP+Heizstäbe	Arbeitszahl WP
	[kWh]	[kWh]	[kWh]		
Jun 25	1708	0	536	3,19	3,19
Jul 25	1727	0	573	3,01	3,01
Aug 25	1743	0	557	3,13	3,13
Sep 25	1970	0	658	2,99	2,99
Okt 25	3726	4	1296	2,86	2,87
Nov 25	4635	1023	1726	1,69	2,68
Dez 25	5872	0	2160	2,72	2,72
Jan 26	5409	611	2071	2,02	2,61
Feb 26	4826	0	1757	2,75	2,75
Mrz 26	4390	0	1611	2,73	2,73
Apr 26	2891	0	1037	2,79	2,79
Mai 26	2087	0	621	3,36	3,36
Summe/ Mittelwert	40982	1638	14603	2,77	2,90

Tabelle 11: Monats- und Jahresarbeitszahl der Wärmeerzeugung (Wärmepumpe + Heizstäbe)

Die Aufstellung zeigt, dass die Arbeitszahlen der Wärmeerzeugung (Luftwärmepumpe + Heizstäbe) im zweiten Betriebsjahr zwar von 2,56 im ersten auf 2,77 im zweiten Jahr angestiegen ist, aber dennoch unter den Erwartungen liegt. Der höchste Monatswert wurde im Mai 2026 mit 3,36 erreicht. Im November 2025 wurden mit 1,69 die niedrigsten Monatsarbeitszahlen erreicht. Dies ist auf den 13-tägigen Ausfall der Wärmepumpe zurückzuführen.

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ohne Heizstäbe beträgt 2,9. Die Monatswerte liegen zwischen 2,68 im November 2025 und 3,36 im Mai 2026. Im Kernwinter – Dezember 2025, Januar und Februar 2026 betrug die Monatsarbeitszahl 2,72, 2,61 bzw. 2,75.

In Abbildung 60: Temperaturverläufe des Heizungskreisessind die Heizungsspeichertemperaturen sowie die Vor- und Rücklauftemperatur der Wandheizung in Haus 12a über die komplette Heizsaison 2025/2026 dargestellt. Nach der Einstellung der Regelungsfunktionen ist der Temperaturabfall im Speicher gut erkennbar. Diese Maßnahmen haben auch wesentlichen Anteil an der Verbesserung der Speicher- bzw. Leitungsverluste.

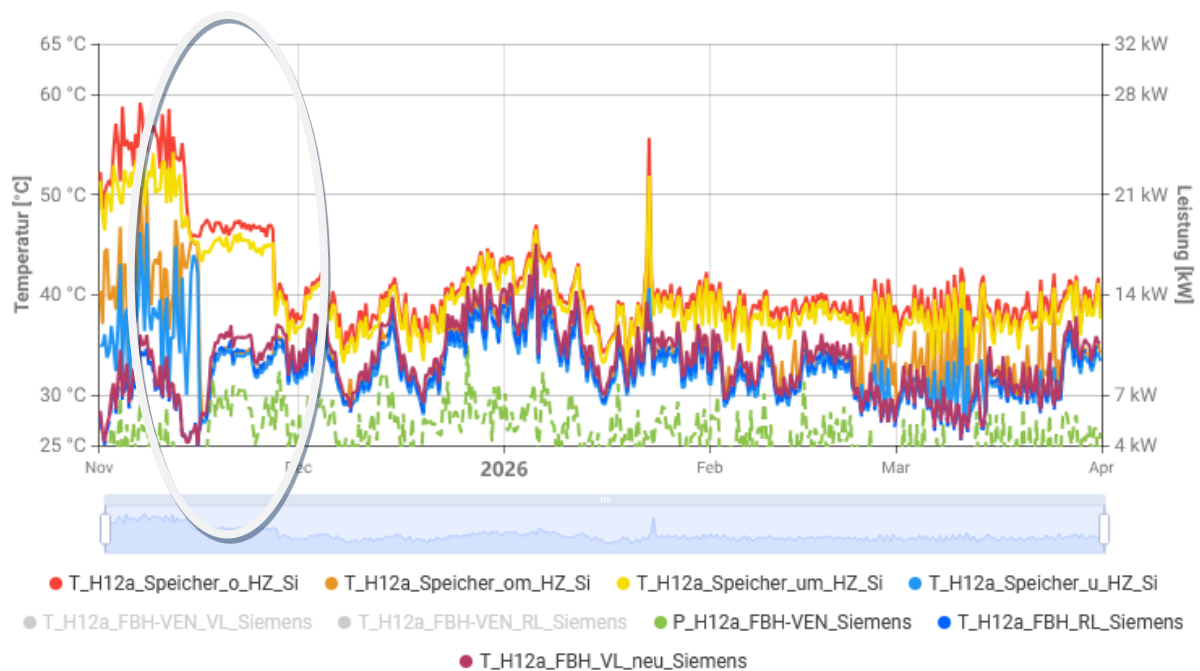


Abbildung 60: Temperaturverläufe des Heizungskreisess in Haus 12a

Abbildung 61 zeigt den Verlauf während einer kalten Woche im Jänner 2026. Die Pufferspeichertemperaturen (rote, gelbe, orange und blaue Kurve) lagen im Mittel zwischen 50 °C und 32 °C., die benötigte Vorlauftemperatur des Wandheizungs-Heizkreises (dunkelrote Kurve) bewegt sich zwischen 50 °C und 37 °C. Entsprechend der Auslegung sollten die Temperaturen im Pufferspeicher etwa 3 bis 4 K über der erforderlichen Vorlauftemperatur liegen, was sich bestätigte.

Heizungsverteilung

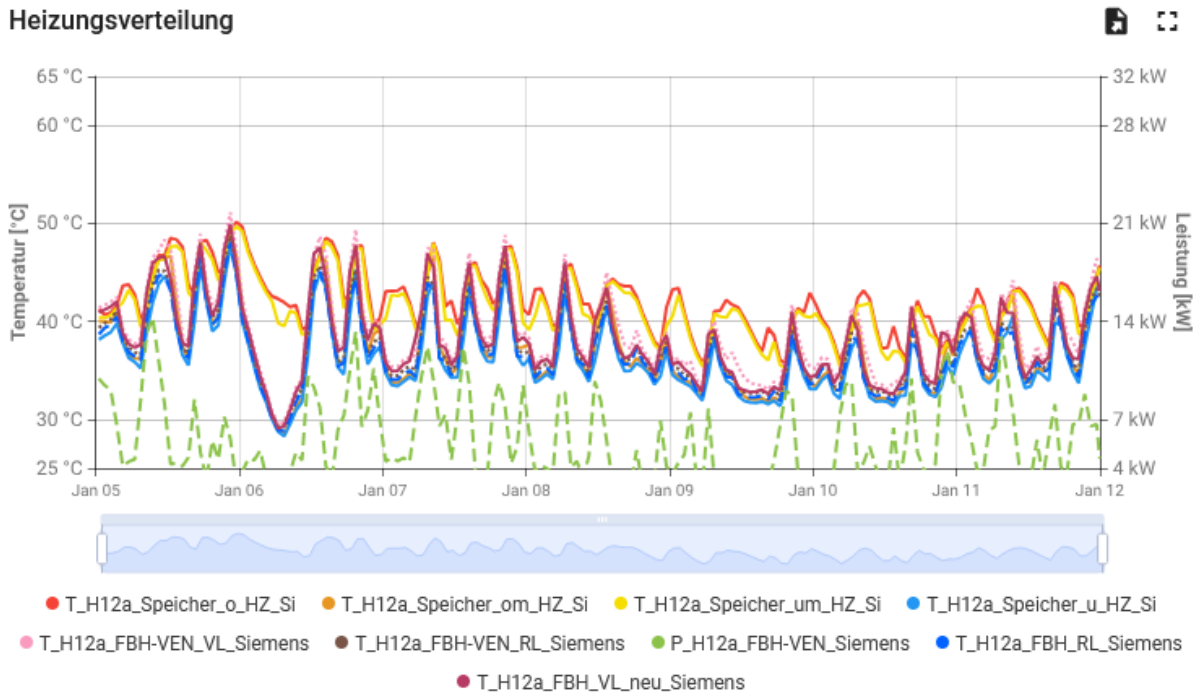


Abbildung 61: Haus 12a Temperaturverläufe des Heizungskreises in der kalten Winterwoche 2026

3.2.8 Lade-, Speicher- und Verteilverluste

Die folgende Tabelle zeigt die Wärmebilanz der Wärmespeicher für den ganzjährigen Messzeitraum.

	Mittlere Leistung	Wärmemenge	spez. Wärmemenge
	[kW]	[kWh/a]	[kWh/(m ² _{WNFA})]
Wärmemenge aus WP in Speicher	4,68	40982	64,0
Heizstab im Speicher	0,19	1638	2,6
Summe Wärme in Speicher		42621	66,6
Wärmemenge aus Speicher in WW-Bereitung	-2,06	-18039	-28,2
Wärmemenge aus Speicher in Heizkreis	-2,03	-17747	-27,7
Summe Wärmemenge aus den Speichern		-35785	-55,9
Speicherverluste		6835	10,7
Speicherverluste in [%]		16,0	

Tabelle 12: Wärmebilanz der Wärmespeicher Haus 12a; 01.06.2025 bis 31.05.2026

Die Lade-, Speicher- und Verteilverluste ergeben sich aus der Differenz zwischen dem Wärmeeintrag und dem Wärmeaustrag des Speichersystems. Der Wärmeeintrag setzt sich aus der von der Wärmepumpe bereitgestellten Wärme sowie der durch die Heizstäbe im Speicher abgegebenen Wärme zusammen.. Der Wärmeaustrag umfasst die vom Speicher an den Heizkreis sowie an den Warmwasserkreis abgegebene Wärme.

Der Wärmeeintrag in den Speicher beträgt 66,6 kWh/(m²_{WNFA}), während der Wärmeaustrag bei 55,9 kWh/(m²_{WNFA}) liegt. Daraus ergeben sich Speicherverluste von 9,2 kWh/(m²_{WNFA}). Im Vergleich zum ersten Messjahr konnten die Speicherverluste im zweiten Messjahr deutlich reduziert werden: Der Verlustanteil sank von 29,2 % auf 13,9 %.

Diese Verringerung der Speicherverluste wurde durch die Optimierung der Regelungsparameter erreicht. Wesentliche Maßnahmen waren die Absenkung der maximalen Speichertemperaturen im Heizungsspeicher und im Speicher für die Warmwasserbereitung, die Reduktion der Rücklauftemperaturen im Heizungsverteilstück sowie im Warmwasserkreis und die Absenkung der Volumenströme sowohl im Heizkreis als auch im Kreis der Brauchwasserbereitung. Zusätzlich wurden die Bypassventile für die Brauchwasserbereitung einreguliert, die Ladeströme der Wärmepumpe angepasst und die Ein- und Ausschaltbedingungen der Speicherladung durch die Wärmepumpe optimiert.

Durch diese Maßnahmen konnte eine verbesserte Temperaturschichtung in den Speichern erreicht werden, wodurch sowohl die Speicher- als auch die Leitungsverluste deutlich reduziert wurden.

In Abbildung 62 sind die folgenden Wärmeströme im Gebäude als Monatswerte dargestellt:

- Wärmeeintrag in Summe Wärmepumpe und Heizstäbe
- Heizwärmeverbrauch
- Nutzwärme Warmwasser
- Lade-, Speicher und Verteilverluste

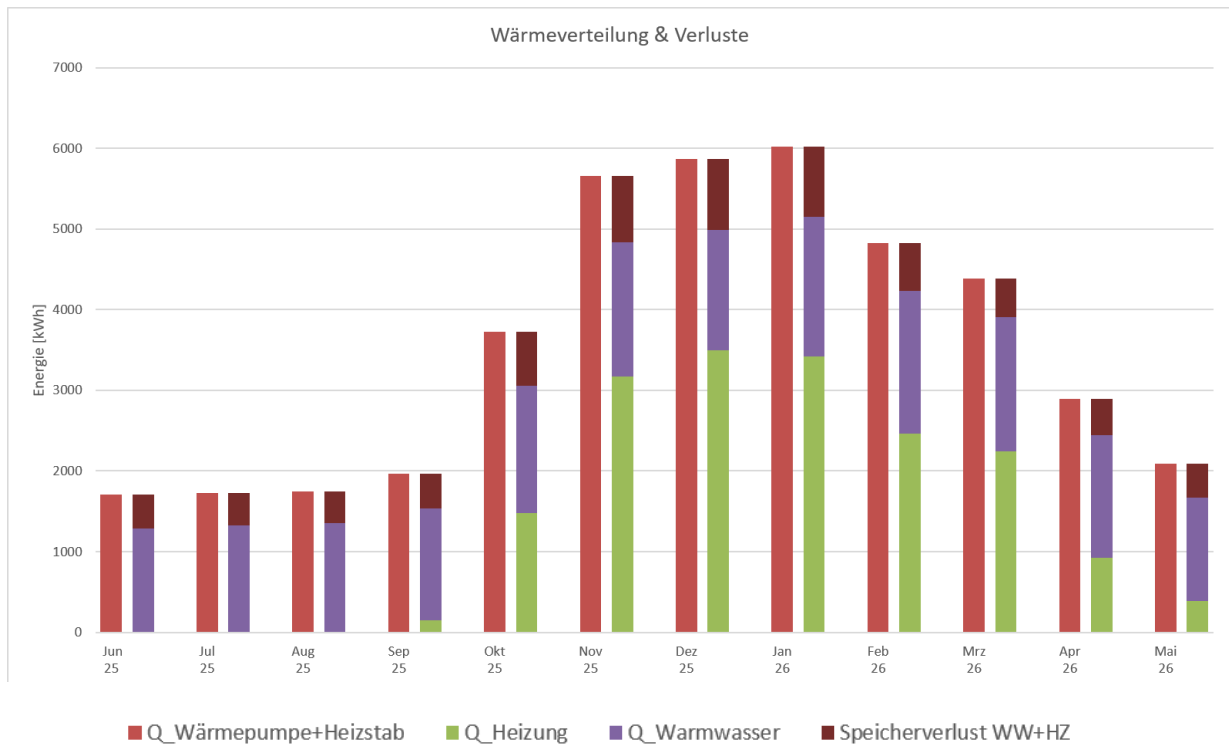


Abbildung 62: Haus 12a, Wärmeverteilung – Verluste im zweiten Messjahr nach der Sanierung

In den Heizmonaten dominiert der Anteil der Raumheizung deutlich, während die Energie für die Bereitstellung von Warmwasser über das Jahr hinweg relativ konstant bleibt. Im Vergleich zum 1. Messjahr war die Heizsaison um zwei Monate länger sie startet schon im Oktober und endete erst im Mai. Die Gesamtverluste machen über das ganze Jahr hinweg einen signifikanten Anteil am Gesamtenergieeinsatz aus – insbesondere in den Sommermonaten, wenn nur Warmwasser bereitgestellt wird. In dieser Zeit entstehen anteilig die höchsten Verluste, da der absolute Nutzwärmeverbrauch gering ist und die Verluste vergleichsweise konstant bleiben.

	Q-Wärmepumpe [kWh]	Q-Heizstab [kWh]	Q-Heizung [kWh]	Q-Warmwasser [kWh]	Speicherverluste [kWh]	Speicherverluste [%]
Jun 25	1708	0	0	1289	419	25
Jul 25	1727	0	0	1323	404	23
Aug 25	1743	0	0	1350	393	23
Sep 25	1970	0	146	1392	432	22
Okt 25	3726	4	1475	1584	670	18
Nov 25	4635	1023	3176	1657	824	18
Dez 25	5872	0	3493	1497	881	15
Jan 26	5409	611	3423	1729	868	16
Feb 26	4826	0	2467	1763	596	12
Mrz 26	4390	0	2247	1661	482	11
Apr 26	2891	0	927	1515	449	16
Mai 26	2087	0	392	1278	417	20

Tabelle 13: Haus12a, Wärmeströme im zweiten Messjahr nach der Sanierung

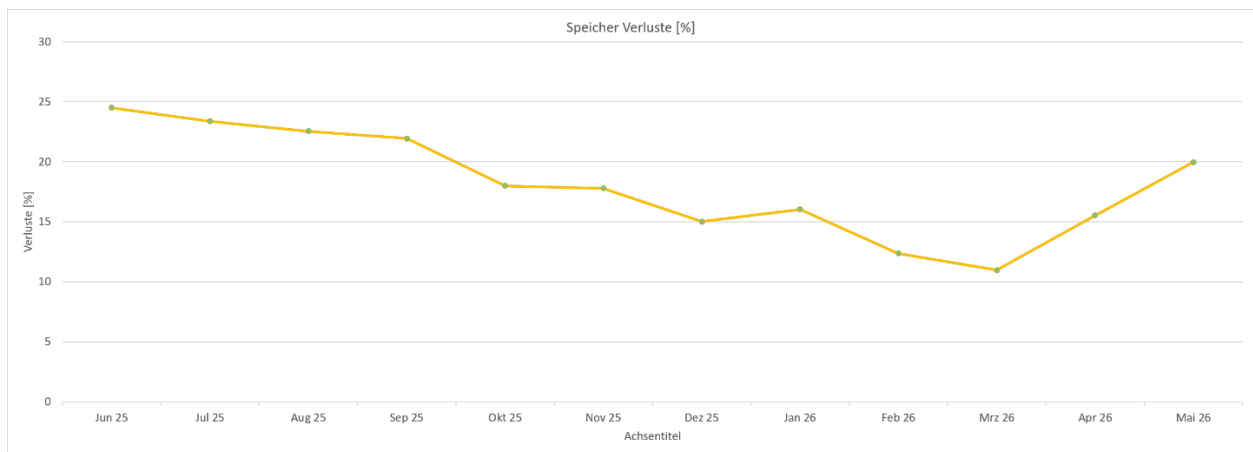


Abbildung 63: Haus 12a, Lade-, Speicher- und Verteilverluste im zweiten Messjahr nach der Sanierung

Im Durchschnitt lagen die Speicherverluste bei 13,9%. Im März 2026, d.h. nachdem ein Großteil der Optimierungsarbeiten umgesetzt war, bei 11%. Nach der Heizsaison, als ausschließlichen Warmwasser bereitet wurde, stieg der relative Anteil der Verluste und erreichte Werte bis 20%.

Verteilverluste Heizung

Die Verluste der Wärmeverteilung Heizung werden fast vollständig von der Warmwasserbereitung getragen, da die Leitungen sich im gleichen Schacht befinden und die Temperaturen der Vor- und Rücklaufstränge der Warmwasserbereitung um bis zu 20°C höher sind als die der Heizungsleitungen.

Verteilverluste Warmwasser

Messtechnisch wurde der Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung nach dem Speicher für die Warmwasserbereitung mittels Wärmemengenzähler erfasst. Um den Wärmeverbrauch der Warmwassernutzung zu bestimmen, müssen die Verteilverluste der Verteilleitung (vom Zähler nach dem Speicher bis zur Übergabestation und wieder zurück) ermittelt werden. Dazu wurden für das ganze Messjahr vom Juni 2025 bis Mai 2026 alle Werte in einem 15 Minuten

Raster auf die zapffreien Bereiche eingegrenzt und die Verlustleistung bestimmt. Die Kriterien für den zapffreien Bereich sind einerseits die zeitliche Eingrenzung in den Nachtstunden von 1 bis 4h in der Früh, und andererseits eine Begrenzung der maximalen Leistung. In der Abbildung 64 sind die Werte als Punktwolke dargestellt.

Deutlich zu erkennen ist, dass nach der Einregulierung des letzten thermischen Zirkulationsventil in den Brauchwasserübergabestationen (blaue Markierung), am 20.04.2026 auch die Rücklauftemperatur von 50°C auf ca. 38°C abfällt. Die Folge dieser Einregulierung ist ein Abfall der Verteilverluste der Warmwasserbereitung um 25% (orange Punkte).

Einregulierung der thermischen
Zirkulationsventile in den
Brauchwasserstationen

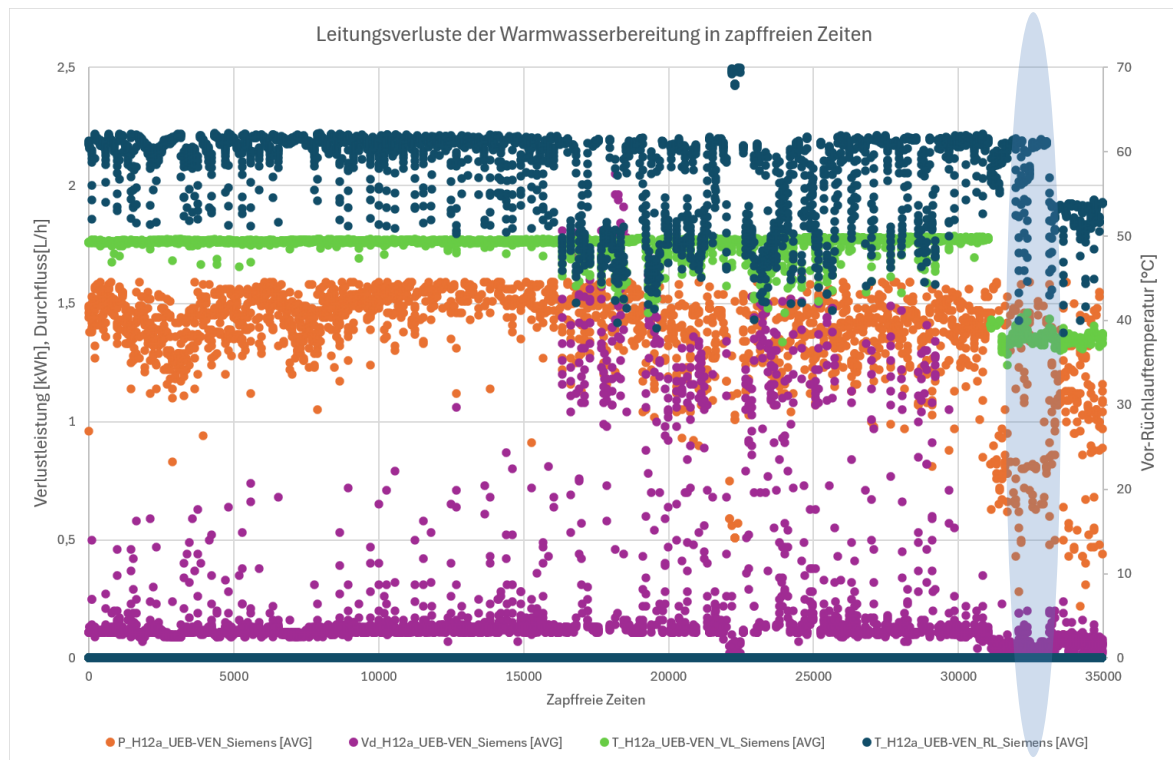


Abbildung 64: Haus 12a, Leistungen, Temperaturen und Durchflüsse der Warmwasserbereitung in der zapffreien Zeit; Quelle: SüdSan Warmwasser MJ2_15m

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Einregulierungsarbeiten und auf ein Jahr hochgerechnet ergibt sich für das zweite Messjahr ein Nutzwärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung von 13,79 kWh/(m²_{WNFA}). Die Leitungsverluste für die Warmwasserbereitung liegen mit 13,97 kWh/(m²_{WNFA}) in der gleichen Größenordnung. Sie betragen etwa 101% des Nutzwärmeverbrauchs.

Q WW Gesamt (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	17765	[kWh/a]	27,76	[kWh/m²a]
Q WW Verluste (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	8939	[kWh/a]	13,97	[kWh/m²a]
Q WW Verbrauch (an Zapfstelle)	8826	[kWh/a]	13,79	[kWh/m²a]

Tabelle 14: Warmwasserverbrauch an Zapfstellen und Wärmeströme Warmwasser ab Speicher bis Übergabestation – zweites Messjahr nach Einstellung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026

In der Literatur werden sehr unterschiedliche Werte für die Höhe der Warmwasser-Verteilverluste in Mehrfamilienhäusern genannt. In der folgenden Tabelle sind Werte aus einigen Quellen zusammengefasst, um Größenordnungen zu verdeutlichen. Ein Vergleich der aufgeführten Werte wird dadurch erschwert, dass nicht immer spezifiziert wird, wie sie ermittelt wurden (statische Berechnung, dynamische Anlagensimulation, Messung...), welche Randbedingungen den Berechnungen/Messungen zugrunde liegen und wie die Bilanzgrenzen gewählt wurden. Die Zusammenfassung kann daher nur dazu dienen, eine Größenordnung für die Höhe der Warmwasserverteilverluste in Mehrfamilienhäusern zu vermitteln.

Quelle/Projekt	Gebäude	Verteilssystem	Art der Ermittlung	Nutzwärme WW kWh/(m²a)	WW-Verteilverluste kWh/(m²a)	Verluste/Nutzwärme WW %	Erläuterung
Technologieleitfaden Warmwasser	MFH	2-Leiter	?	12,7	5,1	40%	Bezug auf m² _{BGF}
Technologieleitfaden Warmwasser	MFH	4-Leiter mit Zirkulation	?	12,7	14,5	114%	Bezug auf m² _{BGF}
Projektbericht PhaseOut	MFH Sanierung	2+2-Leiter mit FriWa-Station	dyn. Simulation	21,0	26,0	124%	Bezug auf m² _{WNF}
Campagneareal Innsbruck	MFH Neubau	2+2-Leiter mit FriWa-Station	Monitoring	12,9	19,0	147%	Bezug auf EBF gemäß PHPP
Altbausanierung zum Passivhaus	MFH Sanierung	4-Leiter mit Zirkulation	Monitoring	17,9	7,5	42%	Bezug auf EBF gemäß PHPP
Modellvorhaben KiliNaWo	MFH Neubau	4-Leiter mit Zirkulation	Monitoring	16,0	11,3	71%	Dreijahresmittelwerte
NZEB-Gebäude Innsbruck	MFH Neubau	2+2-Leiter mit FriWa-Station	Monitoring	24,0	5,0	21%	Bezug auf m² _{WNF}
MFH Wolfurt - Haus A	MFH Neubau	2-Leiter mit FriWa-Station	Monitoring	16,6	10,5	63%	Bezug auf m² _{WNF}
MFH Wolfurt - Haus B	MFH Neubau	2+2-Leiter mit FriWa-Station	Monitoring	16,7	16,9	101%	Bezug auf m² _{WNF}
MFH Dafins - Haus A	MFH Neubau	2+2-Leiter mit FriWa-Station	Monitoring	19,0	21,7	114%	Bezug auf m² _{WNF}
MFH Frankfurt Speicherstrasse	MFH Neubau	2+2-Leiter mit FriWa-Station	Monitoring	9,3	10,1	109%	Bezug auf m² _{WNF}

Tabelle 15: Angaben zur Höhe der Warmwasser-Verteilverluste

Die Messwerte des spezifischen Nutzwärmeverbrauch der Beispielprojekte liegen mit einer Ausnahme im Bereich von 13 und 24 kWh/(m²_{WNF}a). Die Annahmen für den Bedarf im Technologieleitfaden Warmwasser (MA 20, 2016) und im Projektbericht PhaseOut (Jähnig, 2025) liegen in der gleichen Größenordnung.

Die Messwerte der spezifischen Warmwasser-Verteilverluste der Beispielprojekte liegen zwischen 5 und 21,7 kWh/(m²_{WNF}a) und streuen damit sehr stark. Dies gilt besonders für die Gebäude mit 2+2 - Leitersystem mit Frischwasserstation – für dieses Verteilsystem werden sowohl sehr niedrige, als auch hohe Werte genannt.

Die relativen Warmwasser-Verteilverluste der Beispielprojekte liegen zwischen 21% und 147% des Nutzwärmeverbrauchs für Warmwasser.

Im Technologieleitfaden Warmwasser werden für 2-Leitersysteme Warmwasser-Verteilverluste von etwa 40% und für 4-Leitersysteme mit Zirkulation Werte von 114% des Nutzwärmebedarfs als Anhaltswerte genannt (MA 20, 2016).

Zwei Praxisprojekte mit Vierleittersystem zeigen, dass auch mit diesem Verteilsystem geringere Verteilverluste erzielt werden können: Eine Sanierung zum Passivhaus in Frankfurt hat mit $7,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBFa}})$ sehr geringe Verluste (Peper, 2011), das Neubauprojekt KliNaWo mit $11,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFa}})$ einen ebenfalls relativ niedrigen Wert (Hatt, 2022). Dies entspricht 42 bzw. 71% des jeweiligen Nutzwärmeverbrauchs für Warmwasser.

Detaillierte dynamische Gebäude- und Anlagesimulationen für eine Anlagenkonfiguration, die der im SüdSan-Projekt umgesetzten entspricht (Wärmepumpe mit 2+2 Leittersystem mit Frischwasserstation) wurden im Rahmen des Projekts PhaseOut durchgeführt. Diese weisen für das auch bezüglich Geometrie und Energiebedarf vergleichbare PhaseOut-Gebäude Verteilverluste der Warmwasserbereitung von etwa $26 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFa}})$ aus (Jähnig, 2025). Dies entspricht 124% des berechneten Nutzwärmebedarfs für Warmwasser.

Auch die Warmwasser-Verteilverluste in einem hocheffizienten Mehrfamilien-Neubauprojekt in Innsbruck liegen mit $19 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBFa}})$ - etwa 147% des im Projekt gemessenen Nutzwärmeverbrauchs für Warmwasser - in einer ähnlichen Größenordnung wie im SüdSan-Projekt (Ochs, 2025). Auch dieses Projekt ist mit einem 2+2-Leittersystem mit Frischwasserstation ausgestattet.

Das Potential des Systems 2+2-Leiter mit Frischwasserstation zeigt ein Neubauprojekt in Innsbruck, in dem mit $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFa}})$ die niedrigsten Warmwasser-Verteilverluste gemessen wurden (Ochs, 2022), andere Projekte mit 2+2-Leiter oder 2-Leittersystem mit Frischwasserstation liegen bei $10,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFa}})$ (Sigg, 2022) bis $21,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFa}})$ (Hatt, 2022).

3.2.9 PV-Stromerzeugung

Die wichtigsten Daten zur dachintegrierten PV-Anlage und zum Jahresertrag im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

installierte Leistung	25,46	kW _p
Modulfläche	120	m ²
Dachneigung	47	°
Orientierung	14° aus Südrichtung	
Dachneigung	40°	
Jahresertrag	28.920	kWh
spez. Jahresertrag	1.136	kWh/kW _p
wohnflächenspezifischer Ertrag	45,2	kWh/(m ² _{WNFa})
modulflächenspezifischer Ertrag	241	kWh/m ² _{Modul}
Ertrag pro m ² überbaute Fläche	121,8	kWh/m ² _{überbaute Fläche}

Tabelle 16: Kennzahlen und Ertrag der PV-Anlage im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung; Haus 12a

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Monatswerte der PV-Stromerzeugung.

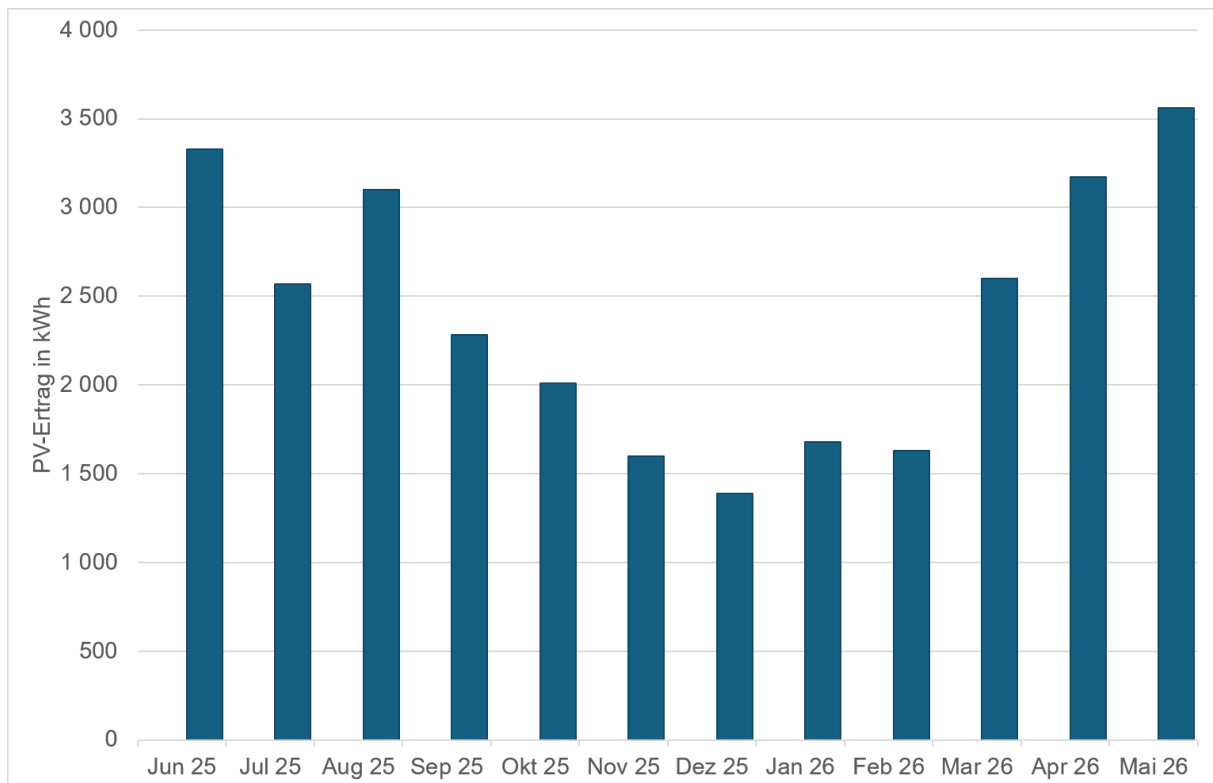


Abbildung 65: Haus 12a, PV-Stromerzeugung im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Monatswerte; Quelle: online-Portal Wechselrichterhersteller

Die dachintegrierte Photovoltaikanlage mit einer installierten Leistung von 25,46 kW_p erzielte im zweiten Messjahr nach der Sanierung eine Gesamtstromerzeugung von rund 28.920 kWh. Damit liegt der jährliche spezifische Ertrag bei 1.136 kWh/kW_p, was einen guten Wert für die Standortbedingungen darstellt. Der Ertrag im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung liegt um 2,7% über dem des ersten Jahres.

Die monatliche Erzeugung folgt dem erwarteten Verlauf: Spitzenwerte treten in den Monaten Juni, August, April und Mai mit jeweils 3.100 bis 3.560 kWh auf, während die Erzeugung in den Wintermonaten deutlich niedriger liegt. Der minimale Monatsertrag lag mit 1.390 kWh im Dezember.

Die Anlage wurde auch im zweiten Betriebsjahr als reine Einspeiseanlage betrieben, da es im ersten Anlauf nicht gelang, die Mieter zu überzeugen, eine gemeinschaftliche Erzeugungsanlage (GEA) zu gründen bzw. sich an ihr zu beteiligen. Ein nächster Versuch zur Gründung einer GEA wird im Juni 2026 gestartet.

Das folgende Bild zeigt die jährliche Energieerzeugung jedes einzelnen Solarmoduls. Dies ist möglich, da für jeweils zwei Module ein „Optimierer“ eingebaut wurde. Die beiden Optimierer die im 1. Messjahr noch defekt waren, funktionieren mittlerweile einwandfrei.

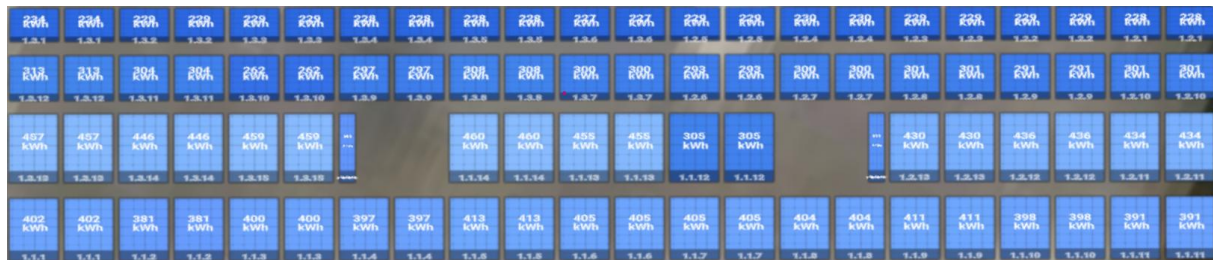


Abbildung 66: Jährliche Stromerzeugung der einzelnen Solarmodule; Haus 12a

In der folgenden Abbildung werden die Monatswerte der PV-Stromerzeugung den Endenergieverbräuchen aller Energieanwendungen gegenübergestellt.

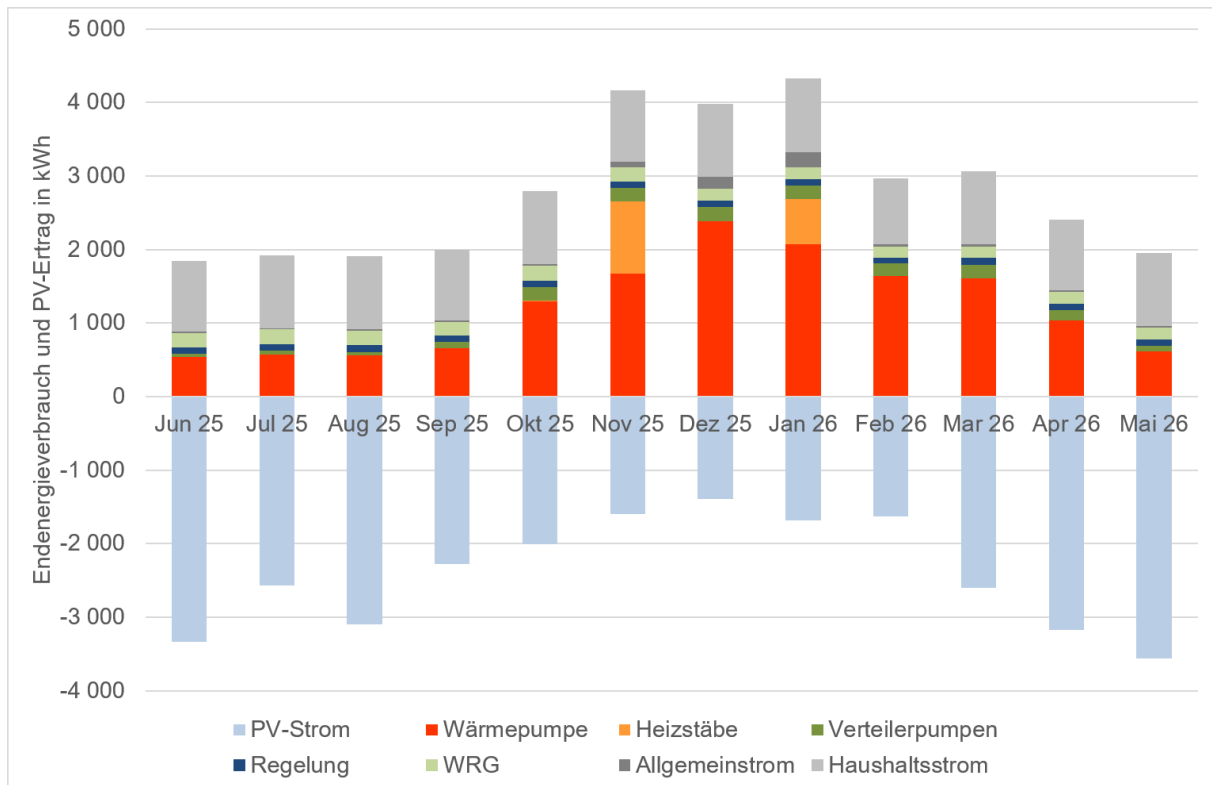


Abbildung 67: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung in kWh; Haus 12a; Monatswerte

Der flächenspezifische PV-Jahresertrag liegt bei $45,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Er ist damit höher als der gesamte Endenergieverbrauch der Haustechnik, der $32,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ beträgt.

Der Gesamt-Endenergieverbrauch liegt bei $52,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Die Monatswerte des PV-Ertrags liegen in den Monaten Juni bis September 2025 sowie April und Mai 2026 über dem Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen.

3.3 Optimierung der Haustechniksysteme im Betrieb

Während des zweiten Betriebsjahrs wurden einige Optimierungen am Wärmeversorgungssystem vorgenommen. Diese fanden aufgrund von Analysen der Funktion des Wärmeversorgungssystems auf Grundlage der Monitoringdaten statt. Relevante Beschwerden von Bewohnern waren im zweiten Betriebsjahr nicht zu verzeichnen.

3.3.1 Hydraulischer Abgleich Frischwasserstationen und Rücklaufftemperaturen Warmwasser

Im ersten Betriebsjahr traten teilweise zu niedrige Warmwassertemperaturen sowie erhöhte Rücklaufftemperaturen bei ausbleibender Warmwasserzapfung auf. Zur Behebung dieser Probleme wurden ein hydraulischer Abgleich sowie weitere Optimierungsmaßnahmen an den Frischwasserstationen durchgeführt. Die Anpassungen erfolgten in mehreren Etappen.

Der erste hydraulische Abgleich konnte aus Termin- und Kapazitätsgründen nicht wie geplant durch den Servicetechniker der Herstellerfirma durchgeführt werden, deshalb wurde er am 07.03.2025 durch den Monteur der Installationsfirma durchgeführt. Es konnten nicht alle Wohnungen betreten werden, weil teilweise die Mieter nicht anwesend waren.

- Der Monteur stellte nach Anleitung des Herstellers Viessmann alle Frischwasserstationen am Differenzdruckregler (PM – Regler) auf den gleichen Wert (Differenzdruckregler – „Stellung 9“) ein.
- Der thermostatische Bypassregler (Zirkulationsbrücke) wurde (wie in der WA Dafins) auf 35-40 °C eingestellt.

Die oben beschriebene „Grobeinstellung“ führte nicht zum gewünschten Ergebnis (Rücklaufftemperaturen zu hoch / Durchfluss bei „Nichtzapfung“ unklar und ebenfalls eher zu hoch). Es wurde ein zweiter Termin zur „Feineinstellung“ am 05.05.2025 durchgeführt, bei dem auch ein Servicetechniker der Herstellerfirma anwesend war. Wieder waren nicht alle Wohnungen zugänglich.

- Die Bypässe in den Stationen wurden so weit als technisch möglich reduziert.,
- Die Differenzdruckregler an den Plattenwärmetauschern wurden bedarfsbezogen eingestellt (nicht „alle gleich“ auf Stufe 9), um damit die unterschiedlichen Positionen und Durchflussmengen der Wohnungen abzugleichen.

Die Warmwasserzirkulationsbrücke (Bypässe) wurden am 20.04.2026, d.h. kurz vor Ende des zweiten Messjahrs, auch in der letzten Wohnung im Dachgeschoß auf +30-40°C eingestellt (grobe Skalierung und grobe Einstellmöglichkeit).

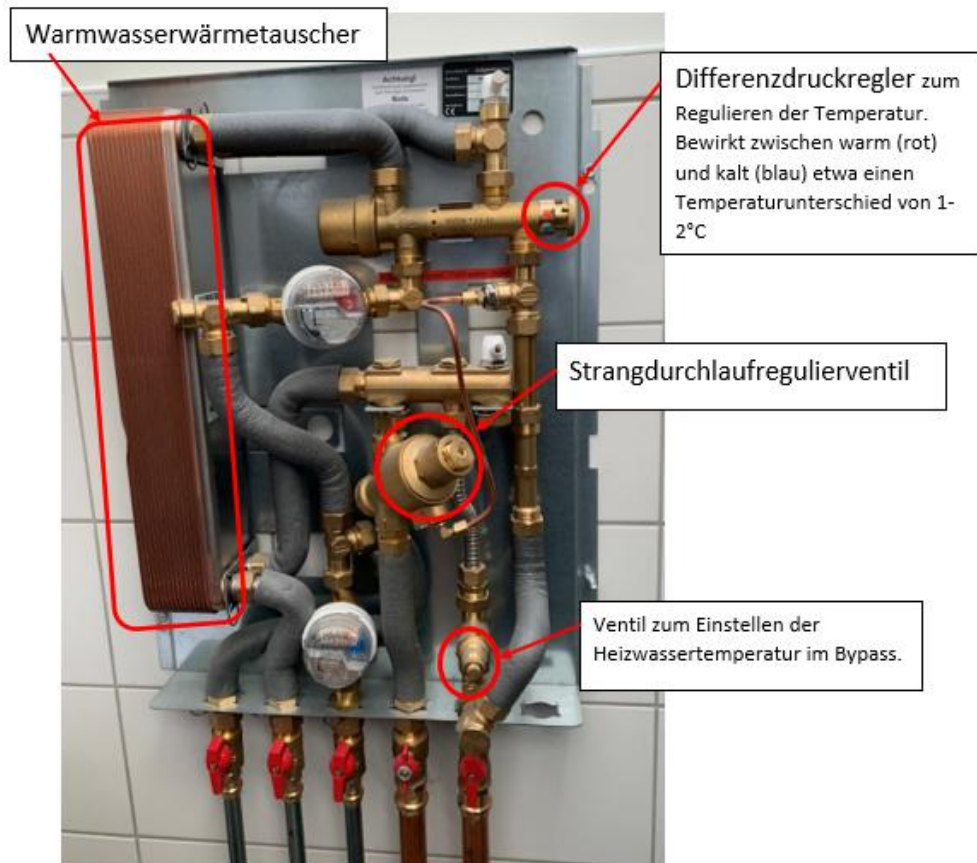


Abbildung 68: Foto der Frischwasserstation im eingebauten Zustand, ohne Geräteabdeckung

Für den Nachweis der ausreichenden Versorgung wurden nach Beendigung der zweiten Etappe der Einregulierungsarbeiten (5.5.2025) vier Zapfstellen gleichzeitig zu 100% geöffnet und die Auslauftemperatur gemessen. An allen Zapfstellen lagen die Temperaturen im geforderten Bereich (43°C) oder darüber. Ebenso wurde die Funktion der Heizkreispumpe (Warmwasser) in den verschiedenen Lastfällen (keine Zapfung / wenig Zapfung / viel Zapfung) überprüft und ein korrekter Betrieb bestätigt.

Hohe Vor- und Rücklauftemperaturen in Verbindung mit relevanten Durchflussmengen (Bei Nichtzapfung) führen im Heizkreis – Verteilsystem zu entsprechenden Wärmeverlusten. Zudem führt das zum Speicher rückgeführte Heizungswasser mit hohen Temperaturen zu Durchmischungen im Wärmespeicher, was negative Auswirkungen auf die Temperaturschichtung und die Speicherverluste hat. Deshalb sollte in einem optimierten System die Rücklauftemperatur und der Durchfluss bei nicht Zapfen niedrig sein. Nach den ersten beiden Optimierungsschritten lag die Rücklauftemperatur immer noch bei ca. 48 °C.

Die Warmwasserzirkulationsbrücke wurde am 20.04.2026, d.h. kurz vor Ende des zweiten Messjahrs im dritten Optimierungsschritt in der letzten fehlenden Wohnung im DG auf etwa

30-40°C eingestellt (grobe Skalierung und grobe Einstellmöglichkeit). Die Frischwasser-Rücklauftemperatur sank dadurch deutlich auf etwa 35 °C ab. Dies zeigt die folgende Abbildung.

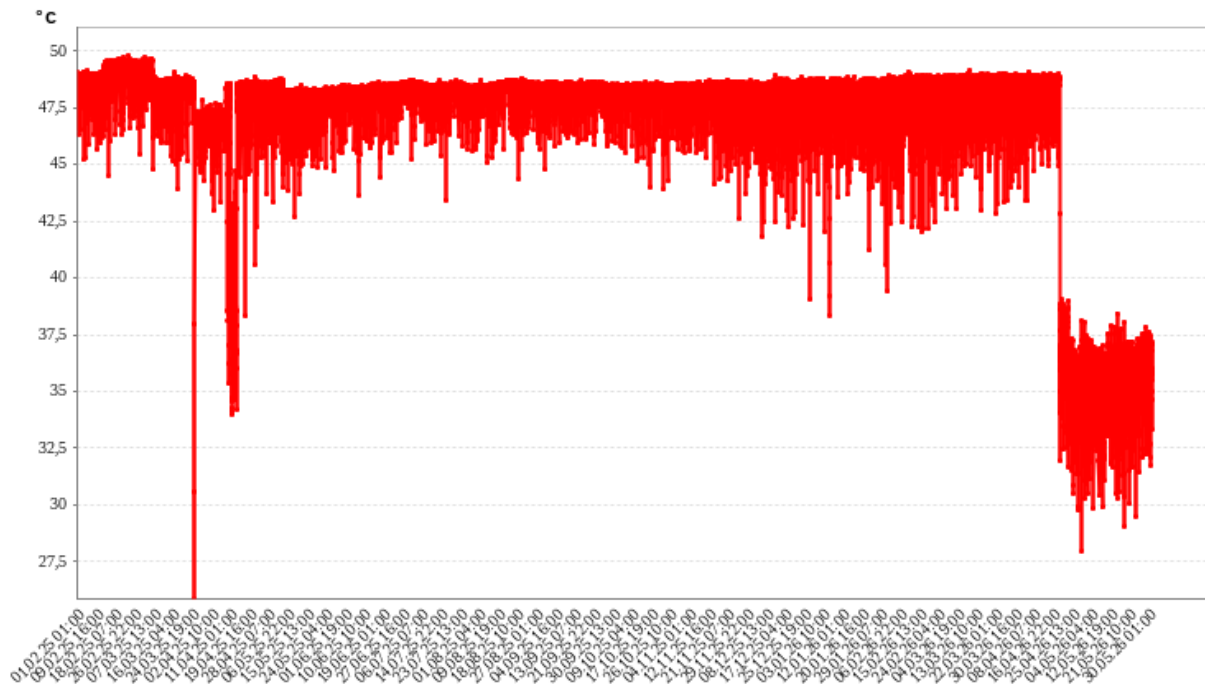


Abbildung 69: Rücklauftemperaturen der Frischwasserstationen (Mischtemperatur aller Stationen, Stundenmittelwert) im Verlauf vom 1.2.2025 bis 31.5.2026 mit den drei Optimierungsetappen.

3.3.2 Speichertemperaturen Warmwasser

Das Temperaturniveau im Warmwasserspeicher war im ersten Jahr und großen Teilen des zweiten Betriebsjahrs nach der Sanierung deutlich zu hoch, da die vorgegebenen optimalen Regelungsparameter für den Betrieb der Frischwasserstationen (kein 4-Leiter System mit Zirkulation) in der MSR nicht umgesetzt worden waren.

Die Umstellung der Zieltemperatur von 62 °C auf 54 °C erfolgte am 13. Mai 2026 und wird in nachfolgender Abbildung dargestellt. Während der Ladung des Speichers durch die Wärmepumpe fällt die Speichertemperatur oben ab. Die Beschreibung dazu findet sich im nächsten Unterkapitel.

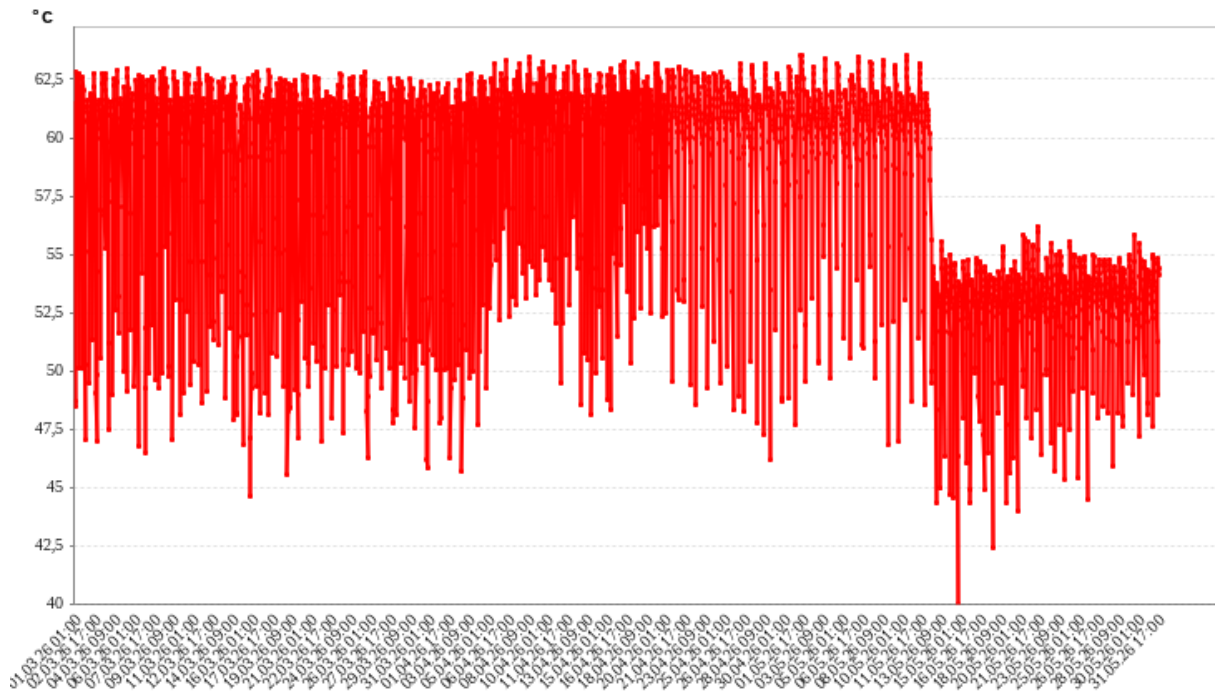


Abbildung 70: Speichertemperaturen oben (Stundenmittelwert) im Verlauf vom 1.3.2026 bis 31.5.2026 mit der Optimierung am 13.5.2026.

3.3.3 Zieltemperaturbeladung der Warmwasserspeicherung durch MSR

Während der Speicherbeladung (Warmwasser, nicht Heizung) wird kaltes Heizungswasser (ca. 35°C) unten aus dem Speicher entnommen und durch die Wärmepumpe erwärmt. Dieses Wasser wird wieder oben im Speicher eingeschichtet. Dies ist im nachfolgenden Haustechnikschema dargestellt.

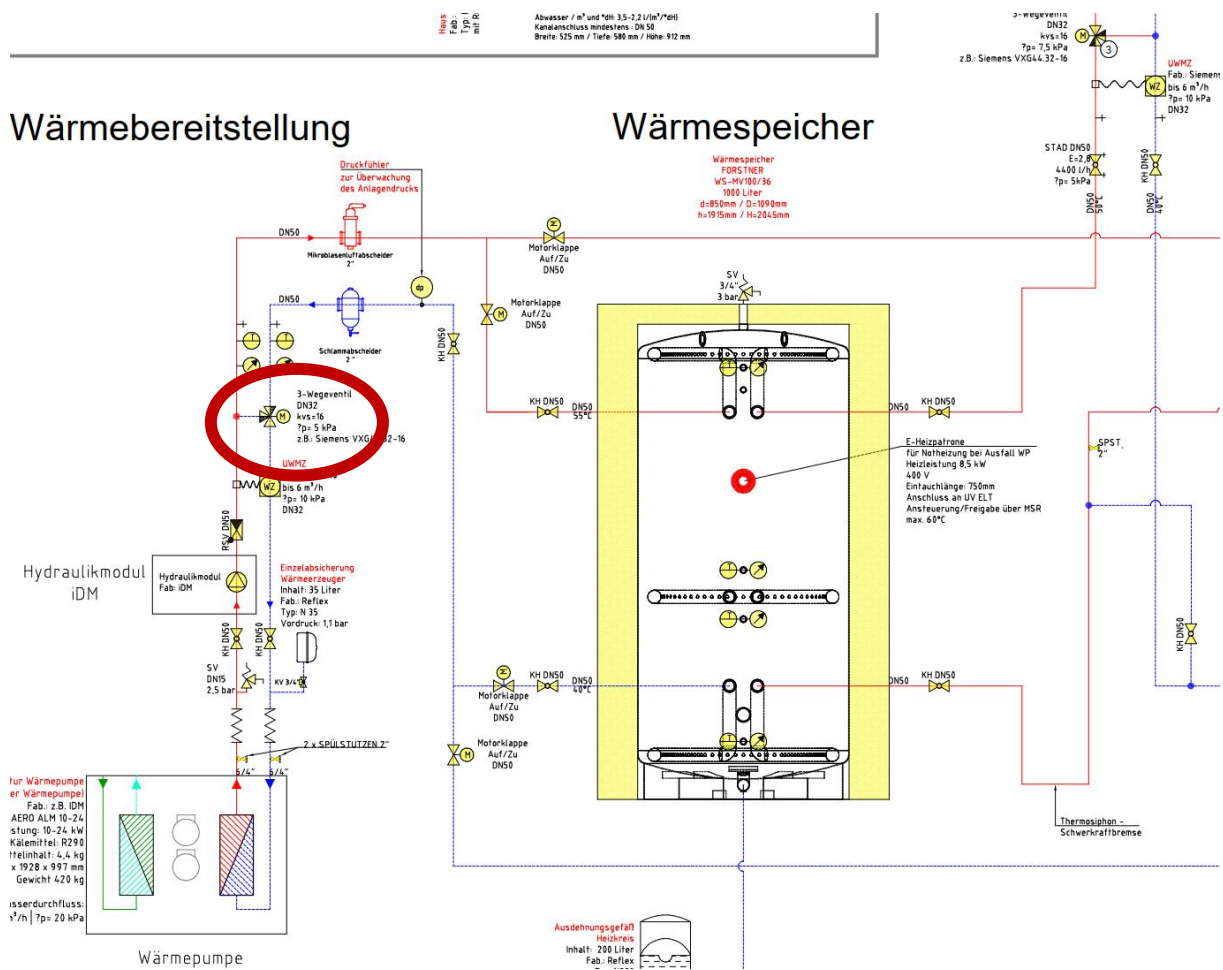


Abbildung 71 Ausschnitt Haustechnikschema Teil Wärmepumpe und Wärmespeicher (Warmwasser). Rot hervorgehoben das Mischventil Wärmepumpe-Speicher.

Die nachfolgende Abbildung 72 zeigt den Speichertemperaturverlauf des Speichers für die Frischwasserstationen am 29.05.2026 über einen Zeitraum von 24 Stunden in 15-Minuten-Zeitschritten. Die violett markierten Bereiche zeigen die Speicherbeladung durch die Wärmepumpe um 8:00 Uhr und 19:00 Uhr. Vor der Beladung liegen die Temperaturen in den unteren Speicherschichten bei etwa 35 bis 37 °C, während die oberste Schicht mit rund 52 °C die erforderliche Vorlauftemperatur für die Frischwasserstationen sicherstellt.

Während der Speicherbeladung wird der Speicher jedoch durchmischt. Da die Wärmepumpe Wasser mit etwa 35 °C entnimmt, um rund 7 K erwärmt und mit etwa 42 °C im oberen Speicherbereich einspeist, sinkt die Temperatur in der obersten Schicht vorübergehend auf etwa 40 bis 45 °C. Dadurch ist der Warmwasserkomfort während der rund einstündigen Beladung zeitweise nicht gewährleistet.

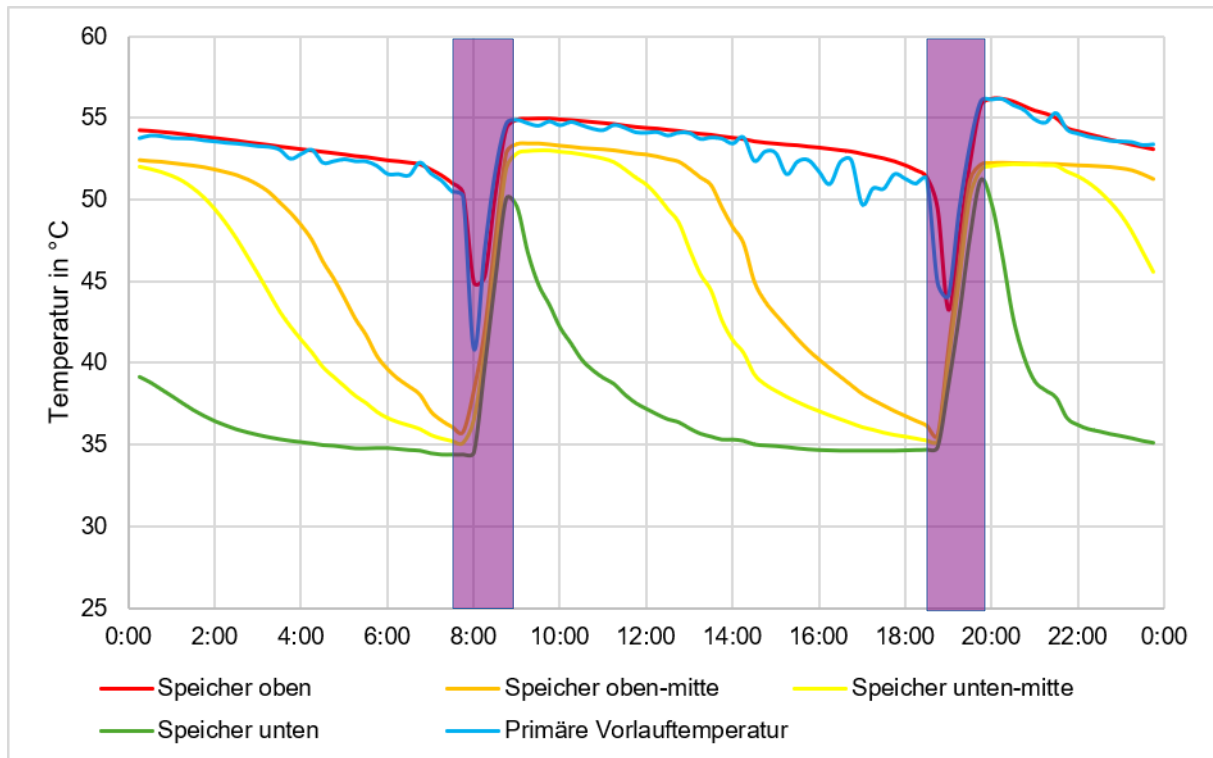


Abbildung 72: Speichertemperaturverlauf, Speicher für Frischwasserstationen am 29.5.2026. Dargestellt sind 24 Std. in 15 Minuten-Schritten.

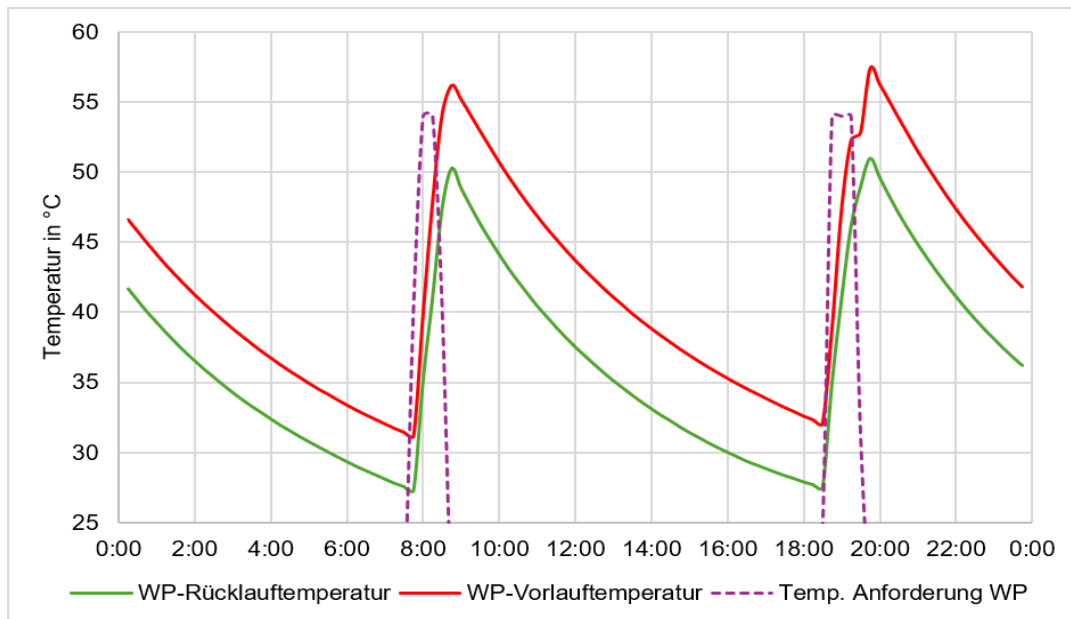


Abbildung 73: Vorlauf- und Rücklauftemperatur der Wärmepumpe sowie Temperaturanforderung an die Wärmepumpe am 29.5.2026. Dargestellt sind 24 Std. in 15 Minuten-Zeitschritten.

Das Problem der Durchmischung kann behoben werden, indem man z.B. den vorhandenen Mischer zwischen Wärmepumpe und Speicher nutzt und eine Zieltemperatur von z.B. 54°C

am Mischerausgang zum Speicher vorgibt. Somit bleibt der Speicher oben auch während des Beladevorgangs im geforderten Temperaturbereich.

Die Zieltemperaturbeladung wurde durch den MSR-Anbieter erst Ende Juni 2026 umgesetzt. Dies war notwendig, um eine komfortable Warmwasserzapftemperatur auch während des Beladevorgangs des Speichers durch die Wärmepumpe zu gewährleisten (siehe vorheriger Punkt).

Die folgende Abbildung 74 zeigt die Auswirkung auf das Temperaturniveau im Speicher.

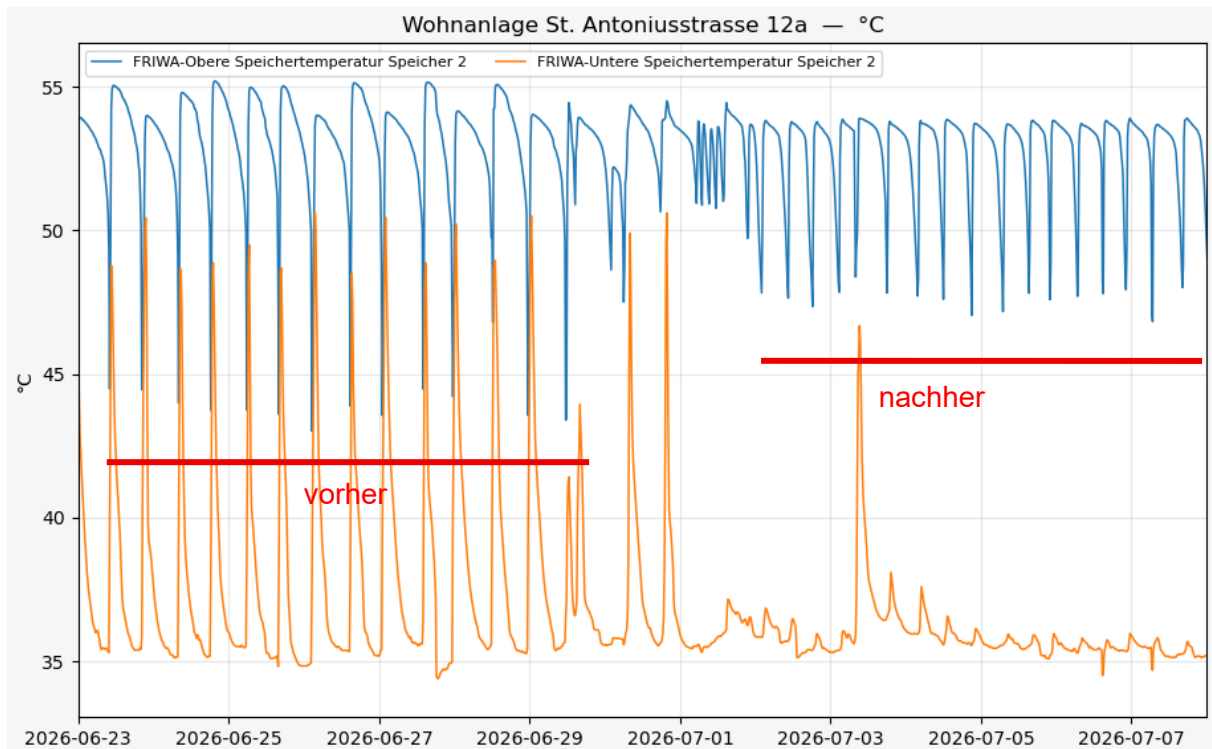


Abbildung 74: Auswirkung der Zieltemperaturbeladung des Warmwasserspeichers nach Umsetzung durch den MSR-Anbieter am 2.7.2026 auf die Speichertemperaturen oben und unten.

Die Abbildung zeigt, dass die obere Speichertemperatur (blau) nach der Umsetzung der Zieltemperaturbeladung nicht mehr auf Werte unter etwa 47 °C fällt. Vorher war dies beim Anlaufen der Wärmepumpe kurzzeitig der Fall und die obere Speichertemperatur sank auf Werte bis etwa 43 °C. Das Komfortproblem, das vorher in kurzen Zeiträumen auftreten konnte, wurde damit behoben. Dies zeigt auch nachfolgende Abbildung 75 nach der Umstellung. Die Vorlauf-temperatur zu den Frischwasserstationen (violett) bleibt nun im Rahmen der Steuer- und Regelgenauigkeit konstant und sinkt während der Beladung durch die Wärmepumpe nicht ab.

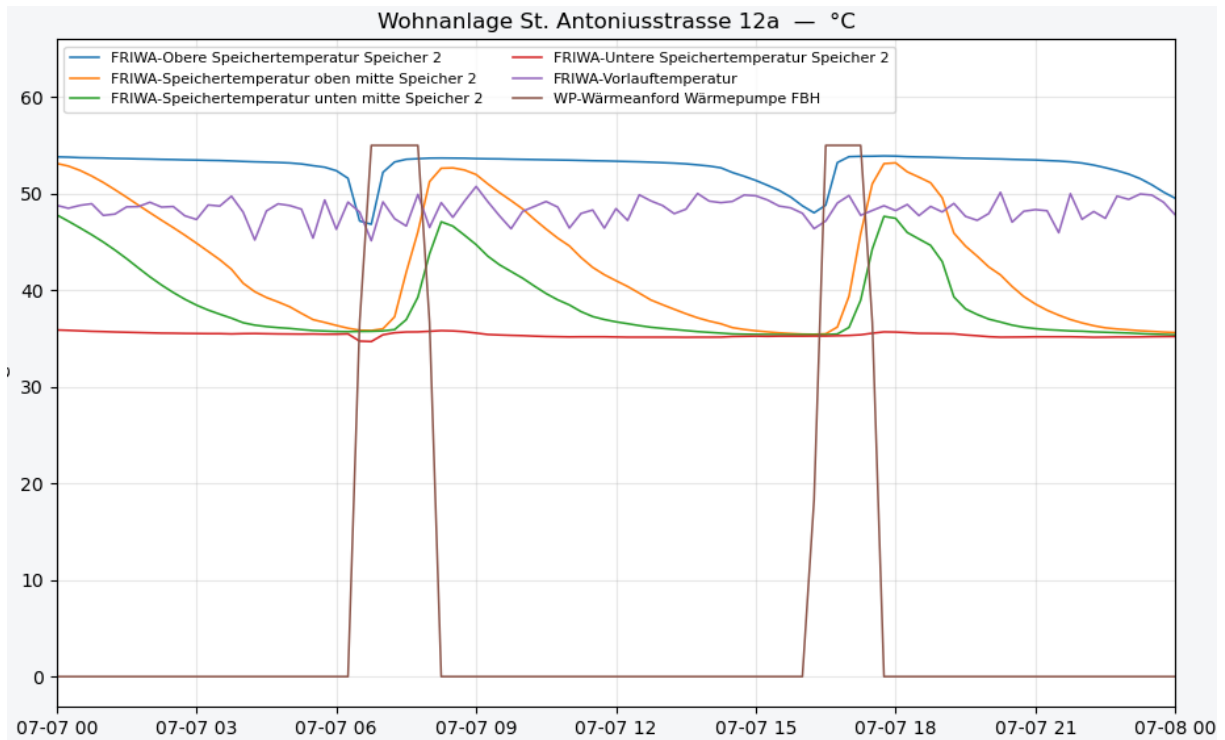


Abbildung 75: Vorlauftemperatur zu den Frischwasserstationen (violett) und Speichertemperaturen nach Umsetzung der Zieltemperaturbeladung.

Der Speicher wird nach der Umsetzung der Zieltemperatur nicht mehr wie vorher komplett durchgeladen, sondern nur noch zu etwa 70-80%. Dies wird dazu führen, dass die Anzahl der notwendigen Wärmepumpen-Starts geringfügig ansteigen wird.

3.3.4 Nachträgliche Dämmung der Fehlstellen der Rohrleitungsdämmung

Wie die folgenden Abbildungen zeigen, wies die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller anders als ausgeschrieben einige Fehlstellen aus. Diese wurden am 05.02.2026 beseitigt.



Abbildung 76: Verrohrung im Heizungskeller mit Fehlstellen der Leitungsdämmung, Haus 12a; Foto: Planungsteam E-Plus



Abbildung 77: Verrohrung Heizungsanlage im Heizungskeller, Haus 12a; Foto: Planungsteam E-Plus



Abbildung 78: Fehlstellen in der Leitungsdämmung, Haus 12a; Fotos: Planungsteam E-Plus

Die beiden folgenden Fotos zeigen den Zustand nach der Nachbesserung.



Abbildung 79: Leitungsdämmung großes Gebäude nach Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg



Abbildung 80: Leitungsdämmung großes Gebäude nach Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

3.3.5 Aufschaltung der Heizstäbe in der MSR

Momentan sind die beiden Heizstäbe in den Speichern nicht wie geplant in die MSR eingebunden. Die MSR sollte die Heizstäbe im Notbetrieb bei Ausfall der Wärmepumpe aktivieren. Ohne die Einbindung in die MSR wurden die Heizstäbe in den ersten zwei Messjahren mehrmals unkontrolliert in Betrieb genommen, teils mit viel zu hohem Temperaturniveau von bis zu 80°C. Die Aufschaltung der Heizstäbe durch den MSR-Anbieter erfolgte erst Ende Juni 2026.

3.3.6 Reduktion des Luftvolumenstroms der Komfortlüftung mit WRG

Der Luftvolumenstrom wurde am 01.12.25 von 660 auf 530 m³/h reduziert. Dies war möglich, da 10 der 11 Wohnungen nur von einer Person bewohnt sind, so dass im ersten Betriebsjahr zeitweise niedrige CO₂-Konzentrationen in der Raumluft auftraten.

4 Ergebnisse kleines Gebäude (St. Antonius-Straße 19)

4.1 Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumlufthtqualität

Als Grundlage zur Einordnung der Energieverbrauchsdaten werden zunächst die Daten zum Nutzerverhalten (Raumlufthttemperaturen, Kalt- und Warmwasserverbrauch) dargestellt.

Die Daten beziehen sich auf die mittlere Bewohneranzahl im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung, die lt. Angaben der Alpenländischen bei 11 lag.

Die Belegungsdichte ist damit deutlich höher als im großen Gebäude. Die mittlere Wohnfläche liegt bei 31,7 m²_{WNF} im Vergleich zu 53,3 m²_{WNF} im großen Gebäude.

4.1.1 Raumlufthttemperatur

Flächengewichtete Monatsmittelwerte der Wohnungen in der Heizperiode

Die folgende Abbildung zeigt die aufsteigend sortierten Monatsmittelwerte der Wohnungen für die zweite Heizperiode nach der Sanierung (Monate Oktober 25 bis März 26). Zum Vergleich sind die Werte während der ersten Heizperiode nach der Sanierung dargestellt.

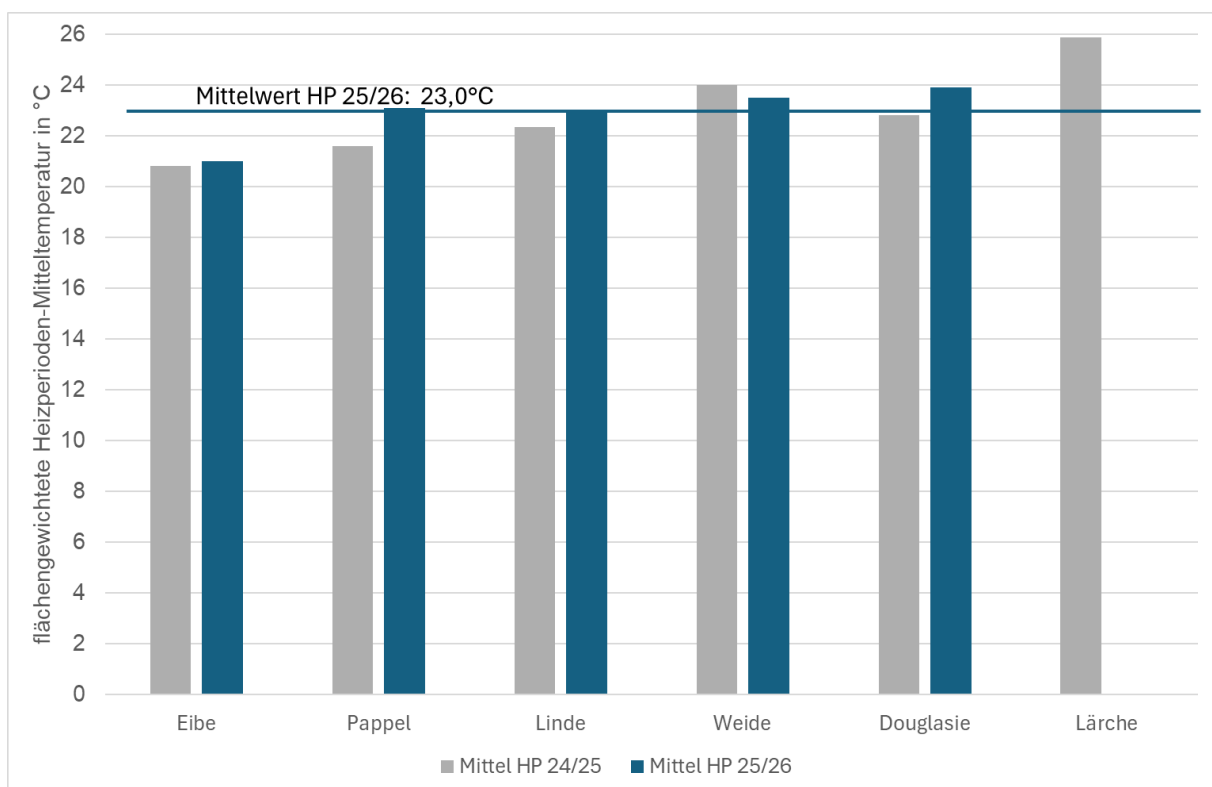


Abbildung 81: Aufsteigend sortierte, flächengewichtete Mittelwerte der Raumlufthttemperatur in der Heizperiode 25/26 im Vergleich zu den Werten in der Heizperiode 24/25, Haus 19

Die Heizperioden-Mittelwerte der einzelnen Wohnungen lagen in der zweiten Heizperiode nach der Sanierung zwischen 21,0 und 23,5 °C. Für die in der ersten Heizperiode wärmste

Wohnung liegen wegen eines Messdatenausfalls keine Daten für die zweite Heizperiode nach der Sanierung vor. Der flächengewichtete Heizperioden-Mittelwert der 5 Wohnungen, für die Messwerte vorliegen, lag bei 23,0°C und damit knapp über der Annahme von 22,5 °C in der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung sowie um 1,4°C über dem Vergleichswert vor Sanierung. Dieser lag bei 21,6 °C (Wörl, 2024). Der Wert in der ersten Heizperiode nach der Sanierung lag bei 22,9°C (Wagner, 2025).

Raumlufttemperatur über Außentemperatur im Jahresverlauf

Für einen ersten Überblick des Raumtemperaturkomforts eignet sich die Darstellung einer Punktwolke mit der Darstellung der Raumtemperatur über die Außentemperatur.

Die beiden folgenden Abbildungen stellen den zeitlichen Verlauf der Raumlufthtemperaturen in den Wohnzimmern des Gebäudes 19 vor und nach der Sanierung dar. Der Messzeitraum vor der Sanierung umfasste nur 9 Monate (von September 22 bis Mai 23). Jeder dargestellte Punkt in den folgenden Abbildungen entspricht einem Stundenmittelwert. Die orangen Bereiche stellen das Behaglichkeitsfeld nach DIN 1946-2 dar (Deutsches Institut für Normung, 1994). Während im Behaglichkeitsfeld die operative Temperatur dargestellt wird, handelt es sich bei den Messwerten um Raumlufthtemperaturen.

Vor der Sanierung (September 2022 bis Ende Mai 2023)

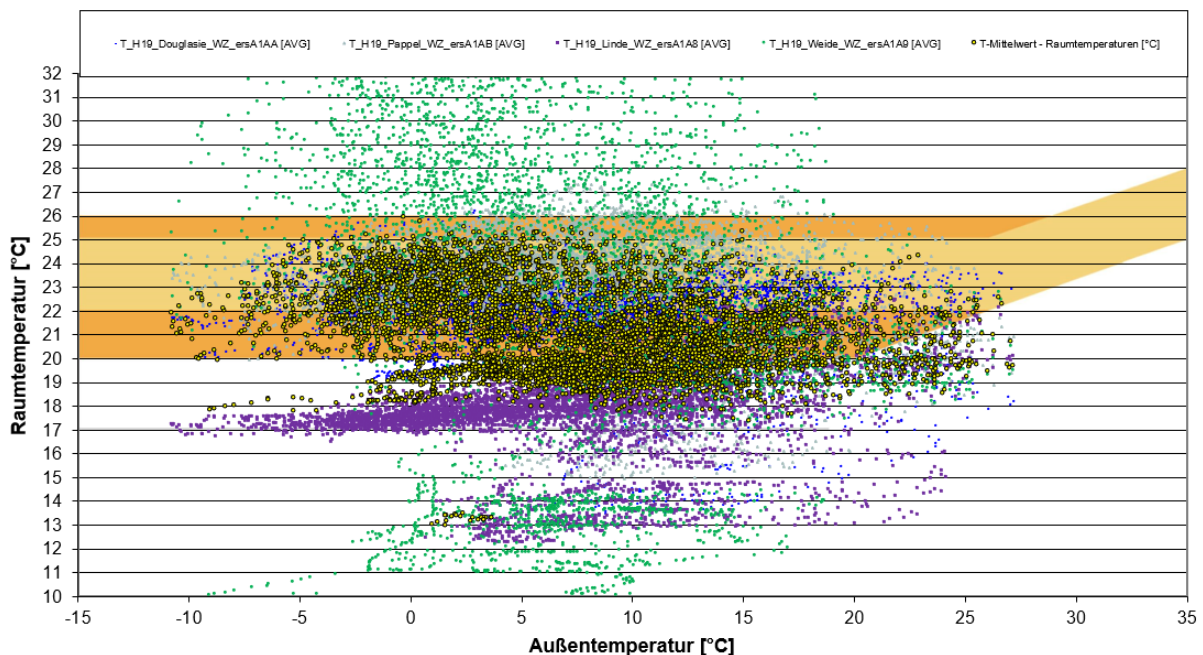


Abbildung 82: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte; Messwerte und Bereiche operativer Raumlufthtemperaturen (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Vor der Sanierung weisen die Raumtemperaturen im Winter eine ausgeprägte tageszeitliche Dynamik und eine hohe Streuung auf. Aufgrund des unzureichenden Wärmeschutzes liegt ein großer Anteil der Messwerte deutlich unterhalb des Behaglichkeitsbereichs. Besonders ausgeprägt sind die Tag-Nacht-Schwankungen in Wohnungen, die mit Holz-Einzelöfen beheizt werden.

Insbesondere bei niedrigen Außentemperaturen sinken die Raumtemperaturen in mehreren Wohnungen deutlich unter 20 °C, in Einzelfällen sogar bis auf etwa 10 °C. Gleichzeitig treten bei höheren Außentemperaturen häufig Raumtemperaturen von über 25 °C auf. Die insgesamt große Streuung der Messwerte weist auf eine ungleichmäßige Beheizung, unterschiedliche Heizsysteme, den unzureichenden Wärmeschutz sowie abweichende Nutzungsgewohnheiten der Bewohnerinnen und Bewohner hin. Der Mittelwert aller Wohnungen (gelbe Punkte) liegt über weite Bereiche knapp unterhalb des Behaglichkeitsbereichs.

Nach der Sanierung (Juni 2025 – Ende Mai 2026)

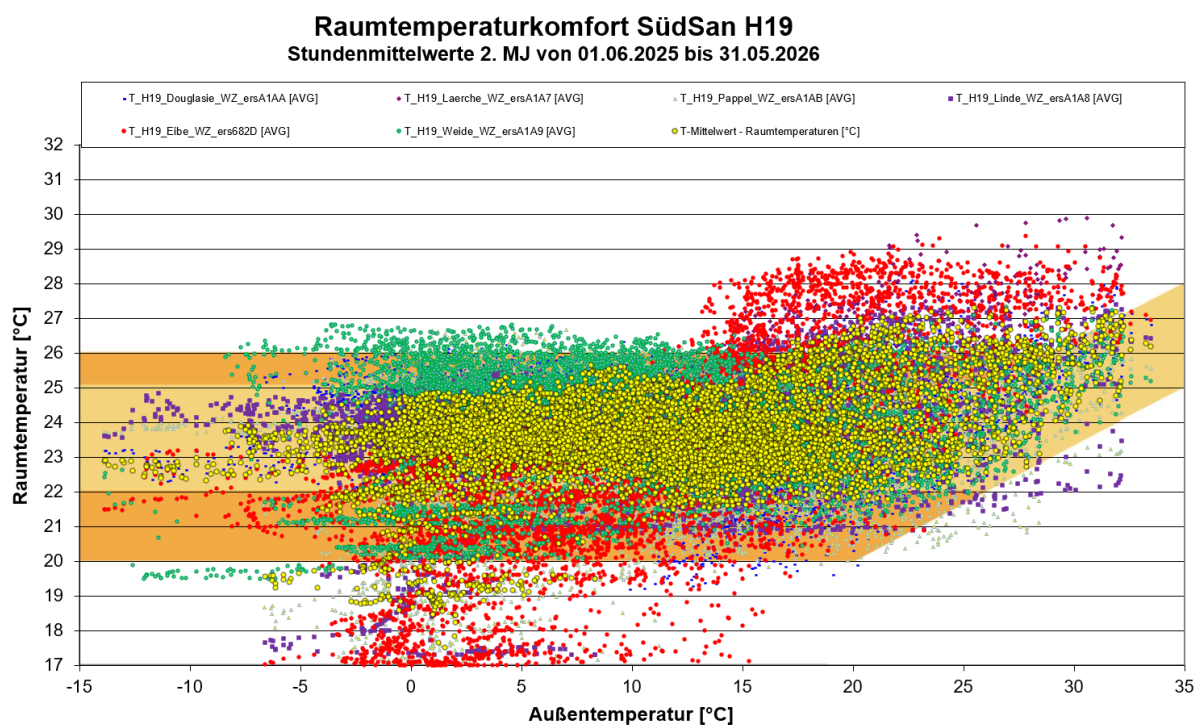


Abbildung 83: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, Juni 2025 bis Mai 2026, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Der Vorher-Nachher-Vergleich zeigt eine deutliche Verbesserung der thermischen Behaglichkeit. Nach der Sanierung sind die Raumtemperaturen stabiler und gleichmäßiger verteilt sowie deutlich weniger von der Außentemperatur abhängig.

Abbildung 83 zeigt die Punktwolke der Raumtemperaturen im zweiten Messjahr nach der Sanierung. Mit Ausnahme einer Wohnung weist das Gebäude ein weitgehend homogenes Tem-

peraturniveau mit geringen Schwankungen im Tages- und Jahresverlauf auf. Raumlufttemperaturen unter 20 °C treten nur noch in Fällen auf, in denen die Bewohnerinnen und Bewohner während eines Urlaubs die Heiztemperatur bewusst absenken. Der Stundenmittelwert aller gemessenen Wohnzimmer-Raumlufttemperaturen ist zusätzlich als gelbe Punktwolke dargestellt.

Insgesamt bestätigt der Vergleich der beiden Abbildungen die deutliche Verbesserung des thermischen Komforts sowie die gesteigerte Energieeffizienz des Gebäudes infolge der Sanierungsmaßnahmen. Die gleichmäßigeren Temperaturverläufe deuten auf eine reduzierte Abhängigkeit von kurzfristigen Änderungen der Außentemperatur sowie auf eine insgesamt stabilere Innenraumtemperatur über den gesamten Untersuchungszeitraum hin.

Raumlufttemperaturen in der kältesten Winterwoche

Die folgende Abbildung zeigt die Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer der einzelnen Wohnungen während der kältesten Winterwoche vor Sanierung sowie den Verlauf der Außenlufttemperatur. Die unterschiedlichen Wärmeversorgungssysteme der einzelnen Wohnungen sind in der Legende aufgeführt.

Vor der Sanierung:

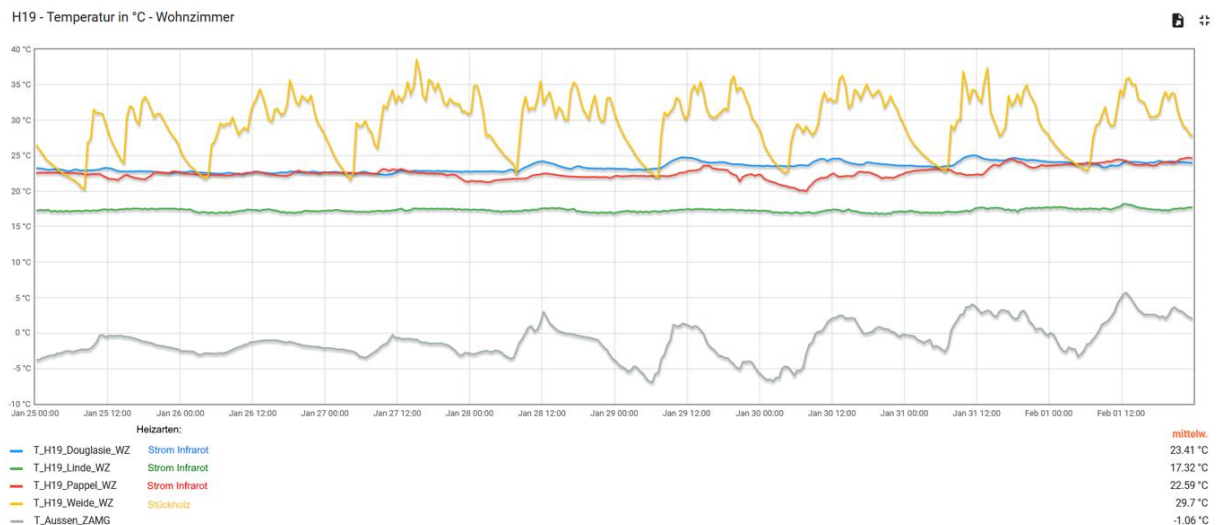


Abbildung 84: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche vor Sanierung, Halbstundenmittelwerte

Insgesamt zeigen die Daten vor der Sanierung eine große Bandbreite der Raumlufttemperaturen. Dies ist vor Allem auf die unterschiedlichen Heizsysteme zurückzuführen – die Temperaturschwankungen sind bei Beheizung mit Stückholzofen deutlich höher.

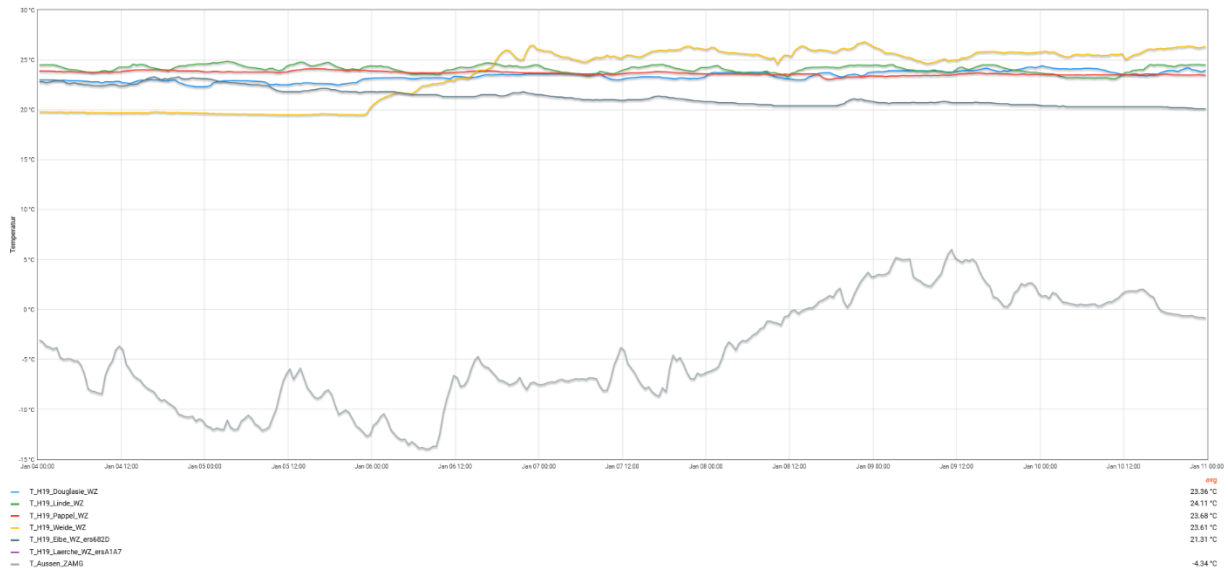
Zweites Betriebsjahr nach der Sanierung:

Abbildung 85: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche in der zweiten Heizperiode nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Im Vergleich zur Situation vor der Sanierung verlaufen die Raumtemperaturen nun deutlich stabiler und auf höherem Niveau. Die Mittelwerte der 5 Wohnungen, für die Messwerte vorliegen, liegen zwischen 21,3 und 24,1°C. Die tageszeitlichen Schwankungen sind sehr gering, da die Gebäude sehr niedrige Wärmeverluste über die gut gedämmte Hülle haben und über eine Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung be- und entlüftet werden.

Die Außentemperaturen lagen während der Woche bei durchschnittlich -4,3 °C und damit um etwa 3,3 K niedriger als in der kältesten Winterwoche vor Sanierung. Die minimale Temperatur lag mit knapp -14 °C weit niedriger als in der kältesten Woche vor Sanierung und im ersten Jahr nach der Sanierung.

Raumlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche

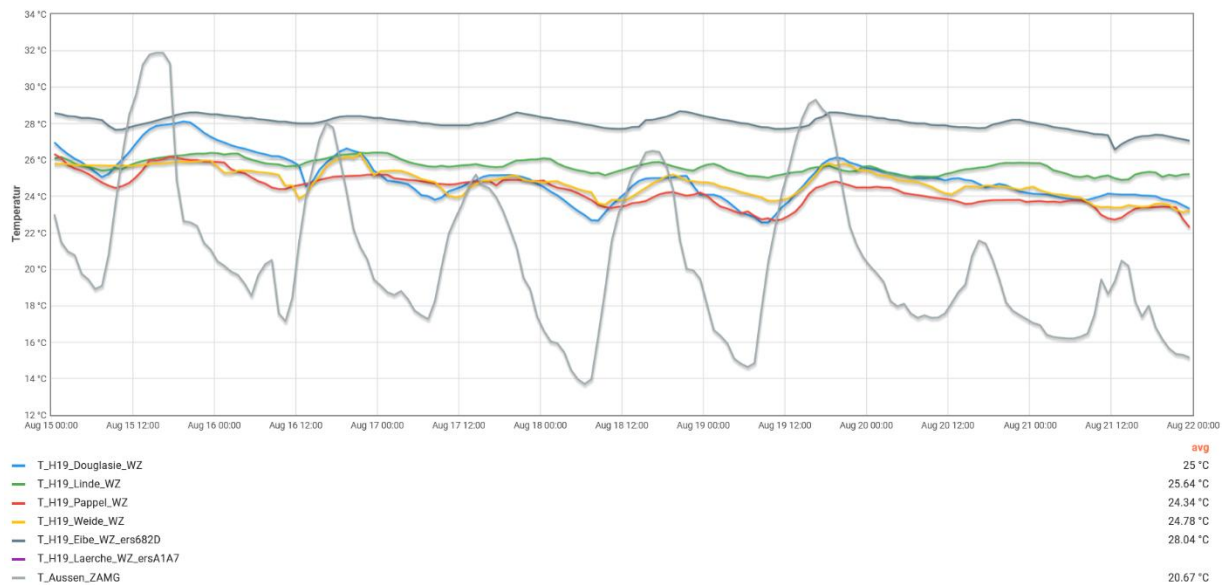


Abbildung 86: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste Sommerwoche im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Aufgrund eines Messdatenausfalls in dieser Woche zeigt die Grafik die Raumlufttemperaturen der unmittelbar darauffolgenden Woche. In diesem Zeitraum betrug der maximale Stundenmittelwert der Außenlufttemperatur 31,9 °C. Die mittleren Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern lagen zwischen 24,3 °C und 28,0 °C.

Trotz der ausgeprägten tageszeitlichen Schwankungen der Außenlufttemperatur (schwarze Kurve), die in den Nachtstunden teilweise bis auf 14 °C absank, zeigen die Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern nur geringe Unterschiede zwischen Tag und Nacht. Die gemessenen Stundenmittelwerte der Raumtemperatur liegen zwischen 22,3 °C und 28,6 °C, wobei die Tag-Nacht-Amplituden überwiegend unter 2 K bleiben.

Dies deutet darauf hin, dass das Potenzial der nächtlichen Fensterlüftung zur passiven Kühlung der Innenräume nicht vollständig ausgeschöpft wird.

Raumlufttemperatur in der heißen Sommerwoche zu Beginn des dritten Messjahrs

Die folgende Abbildung zeigt die Raumlufttemperaturen während der Rekord-Sommerwoche vom 21.06. bis 27.06.2026, unmittelbar nach dem Ende des zweiten Messjahres. In dieser außergewöhnlich heißen Woche erreichte der Stundenmittelwert der Außenlufttemperatur bis zu 37,0 °C. An allen sieben Tagen wurden Tageshöchsttemperaturen von mindestens 34,0 °C gemessen. Die mittleren Stundenwerte der Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern lagen zwischen 26,1 °C und 28,7 °C.

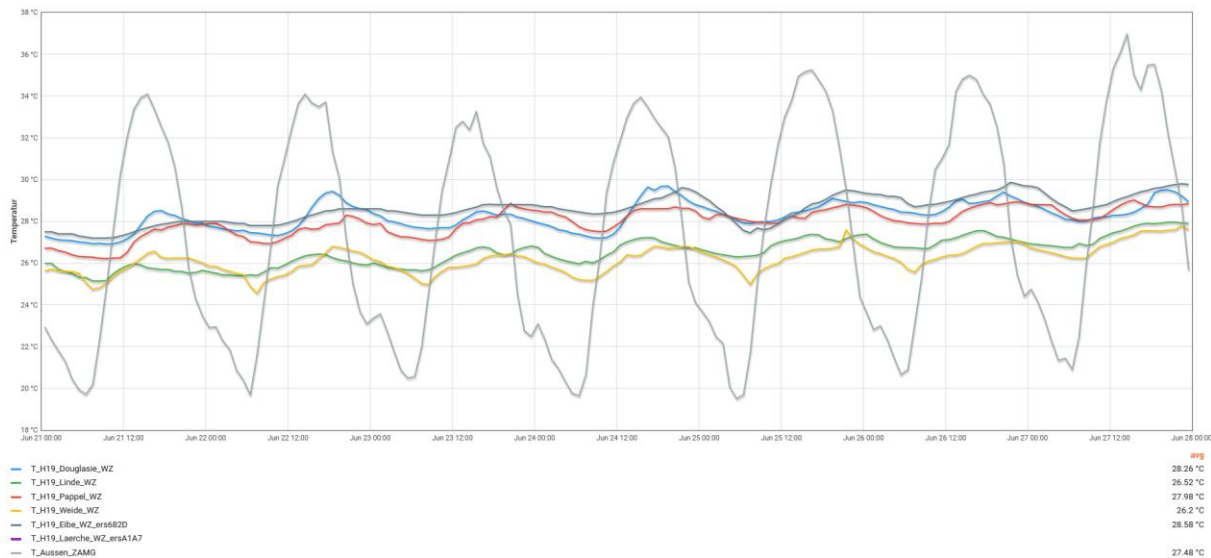


Abbildung 87: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen Rekord-Sommerwoche unmittelbar nach Ende des zweiten Messjahrs nach der Sanierung, Stundenmittelwerte

Es ist zu erkennen, dass die Raumlufttemperaturen in allen Wohnungen im Verlauf der dargestellten Woche kontinuierlich ansteigen. Am letzten Tag der Woche lagen die maximalen Stundenmittelwerte der Raumlufttemperatur bei einer maximalen Außenlufttemperatur von 37,0 °C zwischen 27,8 °C und 29,8 °C. Die nächtliche Abkühlung betrug lediglich 0,8 bis 1,4 K.

Dies verdeutlicht das begrenzte Potenzial der Nachtlüftung zur Abkühlung der Innenräume während einer Tropennacht. Aufgrund der hohen nächtlichen Außenlufttemperatur von mindestens 20,9 °C konnte nur eine geringe Absenkung der Raumlufttemperatur erreicht werden.

4.1.2 Raumlufffeuchte

Die Raumlufffeuchte wird sowohl in den Wohnungen als auch im Keller aufgezeichnet.

Raumlufffeuchte in den Wohnungen

Die folgenden Behaglichkeitsdiagramme nach DIN 1946-2 zeigen die relative Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Raumlufftemperatur in den Wohnzimmern von Haus 19. Dargestellt sind die Zeiträume September 2022 bis Mai 2023 (vor der Sanierung) sowie Juni 2025 bis Mai 2026 (zweites Betriebsjahr nach der Sanierung). Vor der Sanierung:

Der mittlere Bereich der relativen Luftfeuchte lag vor der Sanierung überwiegend zwischen 30 % und 65 %, einzelne Wohnungen wichen jedoch deutlich davon ab. Die relative Luftfeuchte befand sich zwar meist im unkritischen Bereich, die Raumlufftemperaturen schwankten jedoch teilweise erheblich.

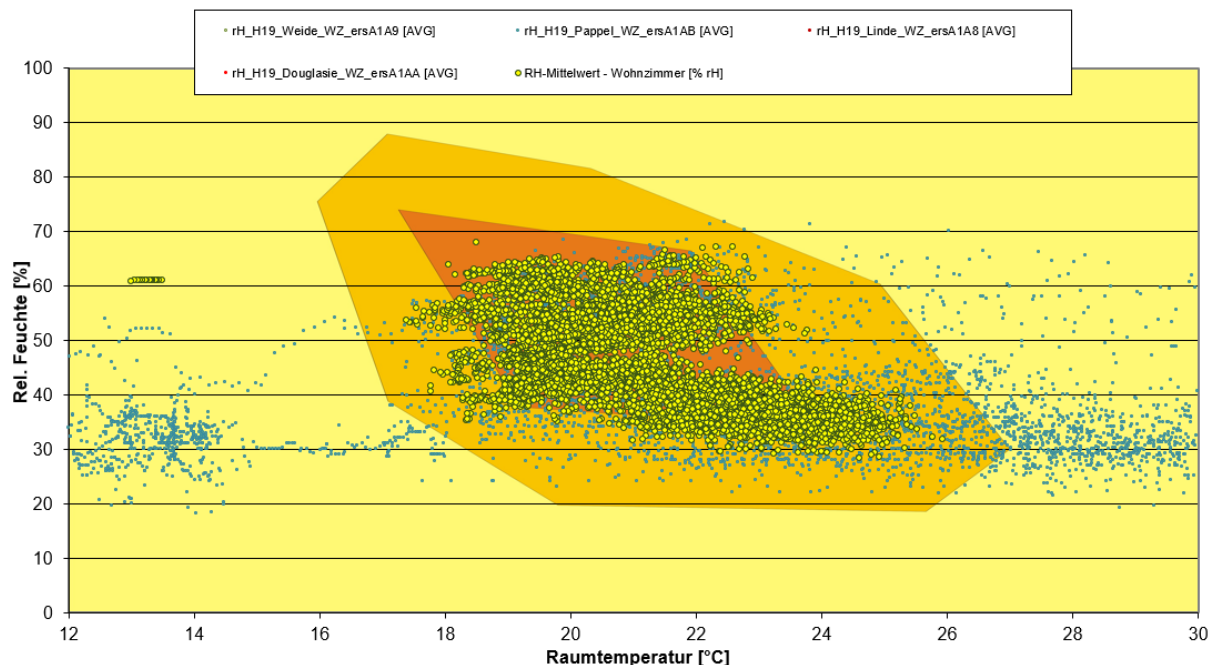


Abbildung 88: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufftemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte

Zweites Betriebsjahr nach der Sanierung:

Im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung lagen die mittleren Werte der relativen Luftfeuchte in den Wohnzimmern überwiegend zwischen 25 % und 60 %. Die im Vergleich zum unsanierten Zustand niedrigeren Werte sind auf die höheren Raumlufftemperaturen während der Heizperiode zurückzuführen. Die niedrigsten Werte wurden in der Wohnung Pappel während einer längeren Abwesenheit der Bewohnerinnen und Bewohner gemessen, da die Wohnung weiterhin auf hohem Temperaturniveau beheizt wurde.

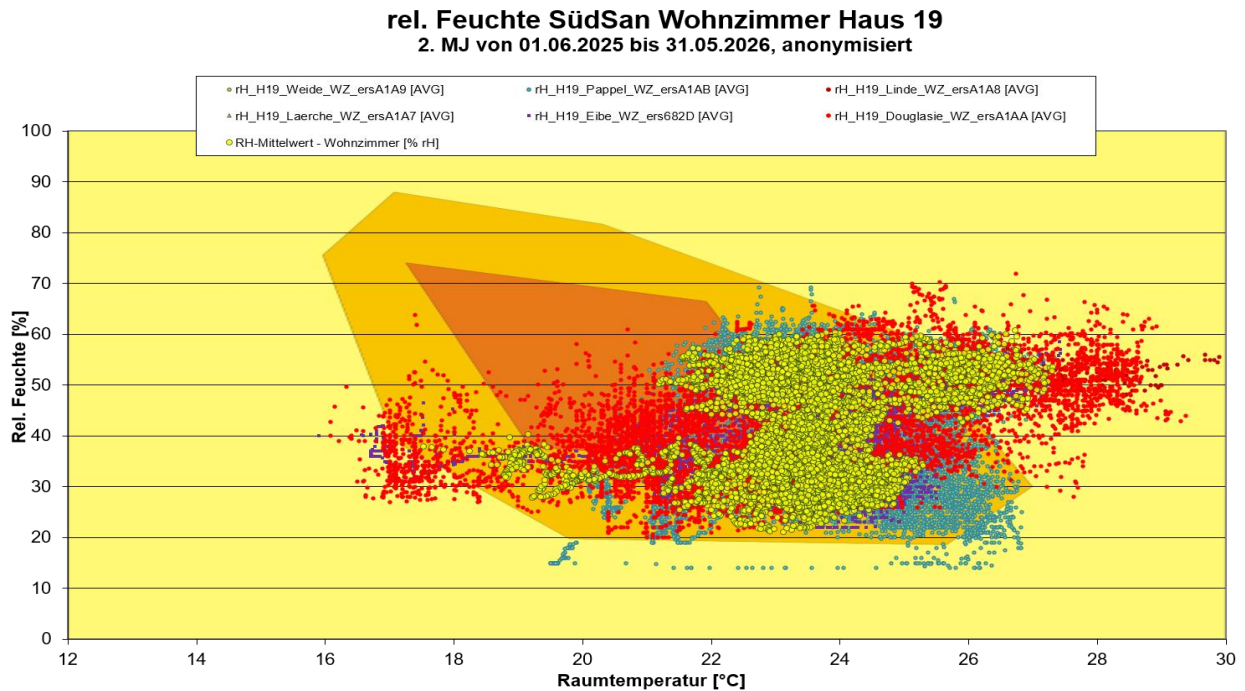


Abbildung 89: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufthtemperatur, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Stundenmittelwerte

Raumlufthfeuchte im Keller

Der kombinierte Temperatur- und Feuchtesensor im Keller befindet sich etwa in der Mitte des größten Kellerraumes in einer Höhe von circa. 1,8 m.

Die folgende Grafik zeigt die Temperatur- und Feuchteverläufe im Keller von Haus 19 sowie die entsprechenden Außenklimadaten für die kälteste Winterwoche im Januar 2026.

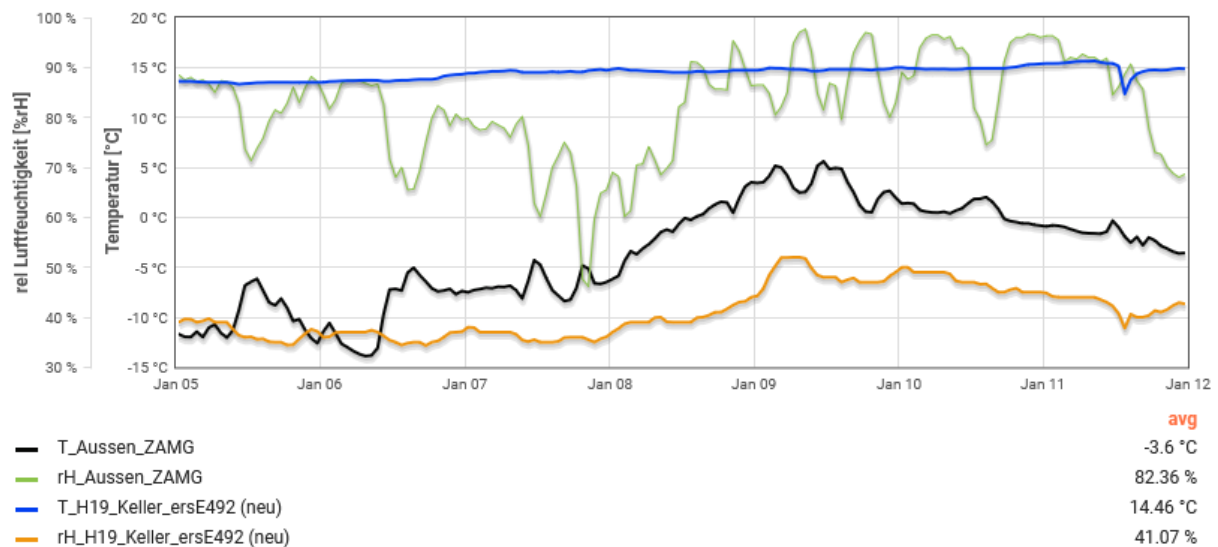


Abbildung 90: Haus 19, Raumlufthtemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche Jan 2026, Halbstundenmittelwerte

Die Kellertemperatur (blaue Linie) bleibt während des gesamten Zeitraums stabil (Durchschnitt: 14,46 °C) – unbeeinflusst von den stark schwankenden Außentemperaturen (schwarze Linie), die zwischen –14,0 °C und +6 °C liegen. Die rel. Luftfeuchte im Keller schwankt in einem Bereich zwischen 34% und 52% und befindet sich somit in einem unbedenklichen Bereich. Die Messdaten belegen, dass der Keller thermisch gut vom Außenklima entkoppelt ist und über eine sehr stabile Raumluftefeuchte verfügt. Die geringe relative Feuchte im Keller senkt das Risiko für Schimmelbildung deutlich.

Sommerwoche

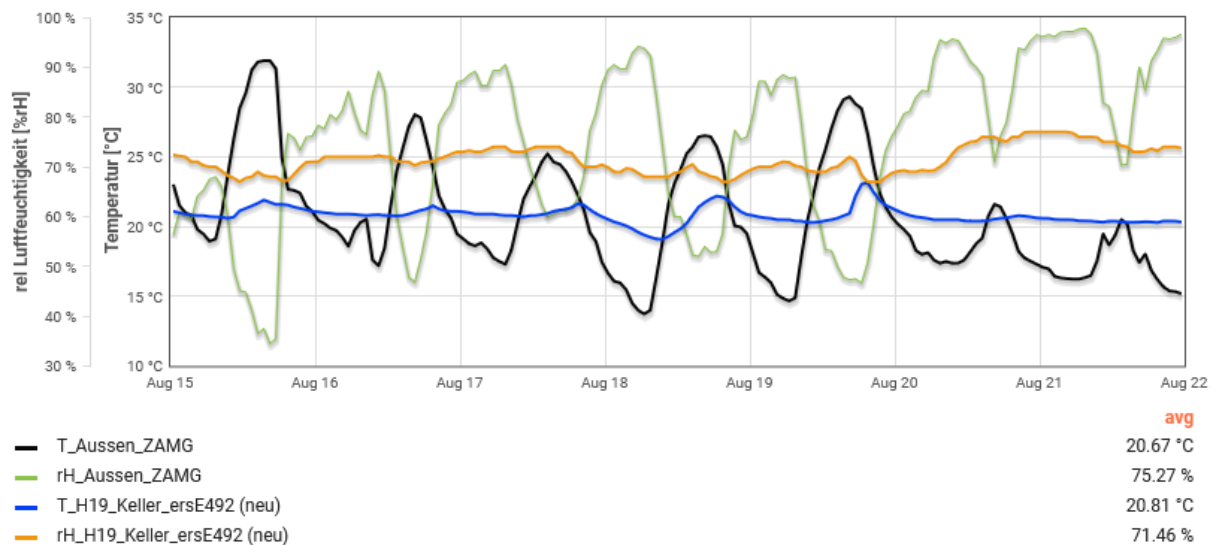


Abbildung 91: Haus 19, Raumluftefeuchte und rel. Feuchte im Keller, wärmste Sommerwoche Aug 2025, Stundenmittelwerte

Die Grafik zeigt den Verlauf der Temperatur und der relativen Luftfeuchte im Keller von Haus 19 im Vergleich zur Außenluft während der wärmsten Sommerwoche. Die Kellertemperatur ist mit einem Mittelwert von 20,8 °C relativ konstant (blaue Kurve) und liegt innerhalb der Schwankungsbreite der Außenlufttemperatur, die zwischen 13,6 °C und 31,9 °C variiert (Mittelwert: 20,7 °C). Die relative Luftfeuchte im Keller liegt zwischen 45 % und 77 % (Mittelwert: 71 %), während sie in der Außenluft deutlich stärker zwischen 34 % und 98 % schwankt. Aufgrund der sehr gut gedämmten Außenbauteile liegen die inneren Oberflächentemperaturen nahe der Raumluftefeuchte. Das Risiko einer Oberflächenkondensation ist daher gering.

In Abbildung 92 ist der Verlauf über das gesamte 2. Messjahr dargestellt. Gut zu erkennen ist, dass die rel. Luftfeuchte im Keller (orange Linie) im Verlauf des Jahres abnimmt. Hat die rel. Feuchte am 1. Juni 2025 noch 65,3%rH so ist der Wert am 31. Mai 2026 auf 56,7%rH abgefallen.

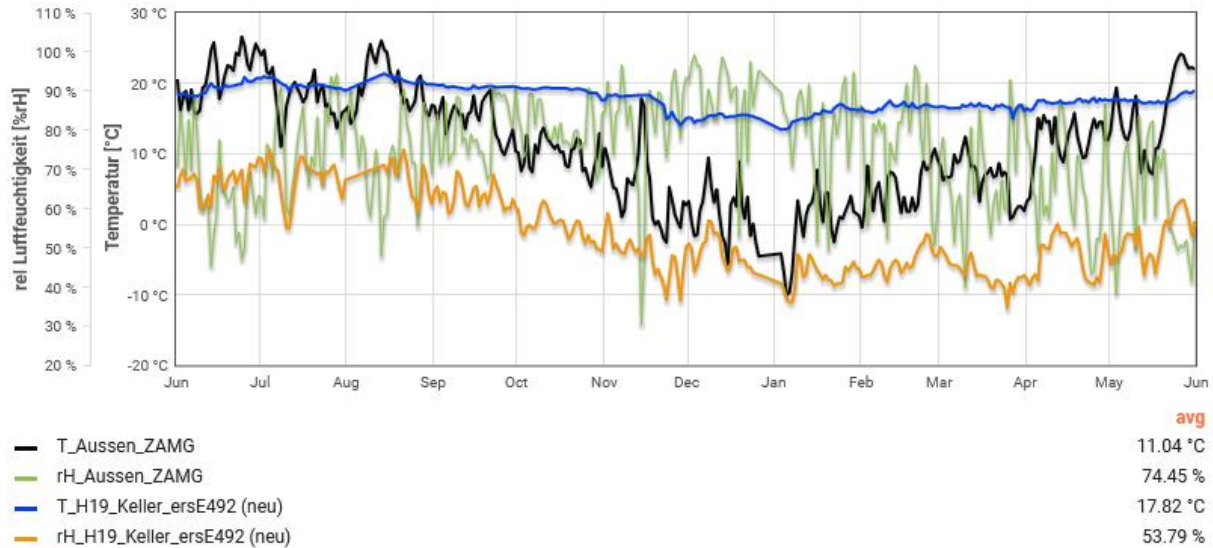


Abbildung 92: Haus 19, Raumlufthemperatur und rel. Feuchte im Keller, Jahresverlauf Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte

4.1.3 Kohlendioxidgehalt der Luft in den Wohnzimmern

Die folgende Abbildung zeigt den Kohlendioxidgehalt der Raumlufth in den Wohnzimmern während des Messzeitraums von Juni 2025 bis Mai 2026.

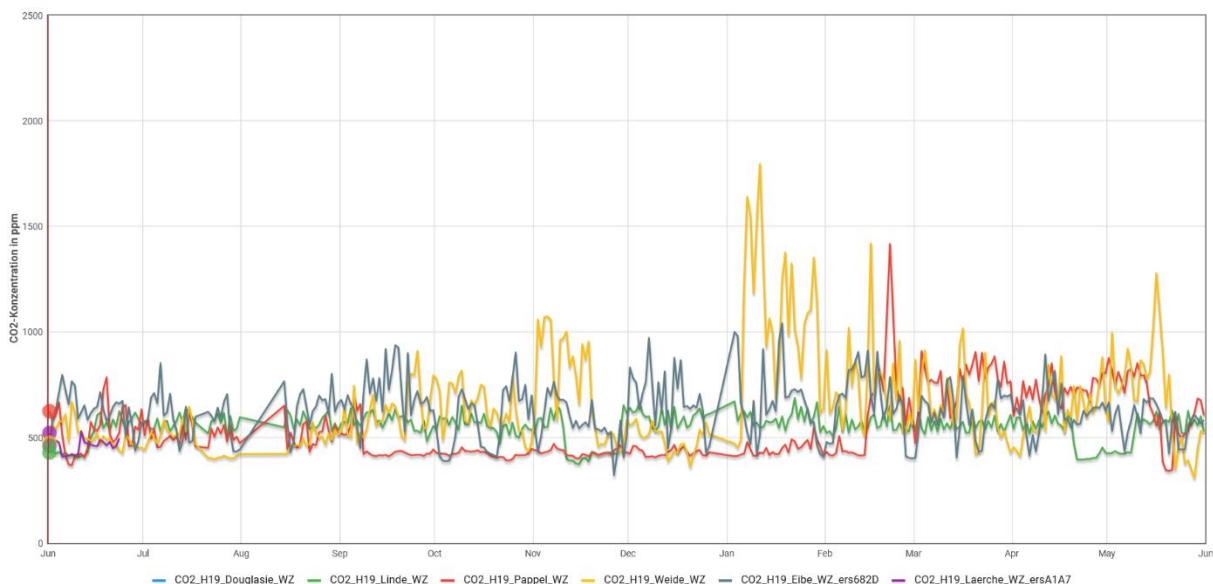


Abbildung 93: Haus 19, CO₂-Konzentration in der Raumlufth, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte

Die CO₂-Konzentrationen in den Wohnzimmern liegen über den größten Teil des Jahres in einem Bereich von 420 bis 1.000 ppm. In Wohnung Weide treten im Januar kurzzeitig Werte bis 1.800 ppm auf, in Wohnung Pappel an einem Tag bis 1.400 ppm. Die Luftqualität ist damit sehr gut.

4.1.4 Kaltwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Kaltwasserverbrauch der Wohnungen.

Kaltwasserverbrauch	Douglasie	Eibe	Lärche	Linde	Pappel	Weide	Summe/Mittelwert
in m ³ pro Jahr	118,2	22,2	22,2	18,6	77,2	109,0	367,4
in Liter pro Tag	323,9	60,8	60,7	51,0	211,5	298,6	1006,6
mittlere Bewohnerzahl	5	1	1	1	1	2	11
Verbrauch pro Person/Tag in Liter	64,8	60,8	60,7	51,0	211,5	149,3	91,5

Tabelle 17: Haus 19, Kaltwasserverbrauch der Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung

Der mittlere pro-Kopf-Kaltwasserverbrauch der 6 Wohnungen liegt bei 91,5 Liter pro Person und Tag. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Median und dem Mittelwert in Mehrfamilienhäusern in Österreich (110 bzw. 116 Liter pro Person und Tag) (Neunteufel, 2024). Der pro-Kopf-Kaltwasserverbrauch ist auch im Vergleich zu Haus 12a merklich geringer.

Die pro-Kopf-Werte der einzelnen Wohnungen liegen zwischen 51,0 und 211,5 Liter pro Person und Tag.

4.1.5 Warmwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Warmwasserverbrauch der Wohnungen.

Warmwasserverbrauch	Douglasie	Eibe	Lärche	Linde	Pappel	Weide	Summe/Mittelwert
in m ³ pro Jahr	35,2	2,5	7,8	5,2	38,2	17,8	106,6
in Liter pro Tag	96,5	6,7	21,3	14,1	104,7	48,8	292,1
mittlere Bewohnerzahl	5	1	1	1	1	2	11
Verbrauch pro Person/Tag in Liter	19,3	6,7	21,3	14,1	104,7	24,4	26,6

Tabelle 18: Haus 19, Warmwasserverbrauch der Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung

Der jährliche Warmwasserverbrauch der sechs Wohnungen beträgt 106,6 m³/a. Bei 11 Bewohnerinnen und Bewohnern entspricht dies 26,6 l pro Person und Tag.

Zum Vergleich mit Literaturangaben muss der Wert umgerechnet werden, da die Literaturwerte sich auf eine Warmwassertemperatur von 60 °C beziehen, die Temperatur im Projekt jedoch bei 46 bis 50 °C liegt. Bei dieser Umrechnung ergibt sich ein personenspezifischer Verbrauch von 20,3 Liter pro Person und Tag an 60-gradigem Wasser. Dieser Wert liegt deutlich unter dem in der Verbrauchsprognoseberechnung verwendeten Wert von 32,5 Liter/Person pro Tag und deutlich unter durchschnittlichen Warmwasserverbräuchen gemäß der in Kapitel 3.1.5 aufgeführten Quellen.

Der tägliche pro-Kopf-Verbrauch in den einzelnen Wohnungen liegt im Bereich von 7 l/Tag bis 105 l/Tag.

4.2 Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme

4.2.1 Endenergieverbrauch gesamt

In nachfolgender Tabelle sind die Messwerte des Endenergieverbrauchs für die Messperiode vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 dargestellt. Die Werte für Wärmepumpe, Verteilerpumpen und Regelung (MSR Siemens) liegen in zeitlich hoher Auflösung vor. Der Wert für die Heizstäbe wird aus der Differenz des VKW-Zählers „Wärme“ und der Summe der Einzelzähler Siemens für Wärmepumpe, Verteilerpumpen und Regelung ermittelt.

Der Verbrauch der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung wird nicht separat, sondern als Teil des VKW-Zählers Allgemeinstrom erfasst. Da die Komfortlüftung konstant mit dem bei der Installation eigestellten Luftvolumenstrom betrieben wird, kann der Verbrauch mit guter Genauigkeit aus der luftmengenspezifischen Leistungsaufnahme und dem Luftvolumenstrom gemäß Einregelungsprotokoll ermittelt werden. Der verbleibende Rest des vom VKW-Allgemeinstromzähler erfassten Stroms entspricht dem Verbrauch der separaten Abluftanlage im Keller, des Entfeuchtungsgeräts im Keller sowie der Beleuchtung der Allgemeinbereiche (Keller, Treppenhaus, Außenbeleuchtung).

Der Haushaltsstromverbrauch wird als Teil des AEE-Monitorings erfasst. Wegen temporärer Datenausfälle in einzelnen Wohnungen werden in der folgenden Tabelle keine Monatswerte, sondern nur der Jahreswert ausgewiesen. Dieser wurde anhand der VKW-Zählerstände validiert.

Verbrauch in kWh	Siemens-Zähler			Wärmepumpe	VKW-Zähler Allgemeinstrom		VKW
	Heizstäbe	Regelung	Verteilerpumpen		WRG	Allgemeinstrom	
Jun 25	269	45	61	282	109	43	
Jul 25	190	48	39	317	113	39	
Aug 25	24	47	37	374	113	46	
Sep 25	275	46	43	403	109	54	
Okt 25	160	48	59	807	113	32	
Nov 25	25	46	56	916	109	191	
Dez 25	26	48	60	932	113	188	
Jan 26	21	48	55	1 085	113	215	
Feb 26	23	43	41	876	102	202	
Mar 26	29	48	45	954	113	275	
Apr 26	26	46	38	663	109	266	
Mai 26	35	48	27	380	113	154	
Summe	1 102	561	560	7 988	1 329	1 705	9 896
spez. Verbrauch in kWh/(m²_{WNFA})	3,2	1,6	1,6	22,9	3,8	4,9	28,4

Tabelle 19: Endenergieverbrauch Haus 19 vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen; Quellen: Siemens-Zähler, VKW-Zähler Allgemeinstrom, AEE-Zähler Haushaltsstrom

Der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser liegt bei 9.090 kWh/a, dies entspricht 26,1 kWh/(m²_{WNFA}). Der Großteil der Wärmeerzeugung erfolgt mit 22,9 kWh/(m²_{WNFA}) über die Wärmepumpe, die Heizstäbe steuern 3,2 kWh/(m²_{WNFA}) bei. Dies ist – vor allem angesichts der mittleren Raumlufttemperatur von 23,0°C in der Heizperiode - ein sehr niedriger Wert.

Auch der Verbrauch der Verteilerpumpen ist mit $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ niedrig. Der Verbrauch der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung liegt bei $3,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der Verbrauch der MSR liegt bei $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und damit in einer nicht zu vernachlässigenden Größenordnung. Der Haushaltsstromverbrauch liegt im Mittel der Wohnungen bei $28,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und damit erheblich höher als im großen Gebäude. Grund ist die weitaus höhere Belegungsdichte. Der Allgemeinstromverbrauch liegt bei $1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

In der folgenden Abbildung ist der Jahresverlauf des Endenergieverbrauchs grafisch dargestellt. Die Monatswerte des Haushaltsstroms sind nach der Anzahl der Tage pro Monat aus dem Jahreswert ermittelt.

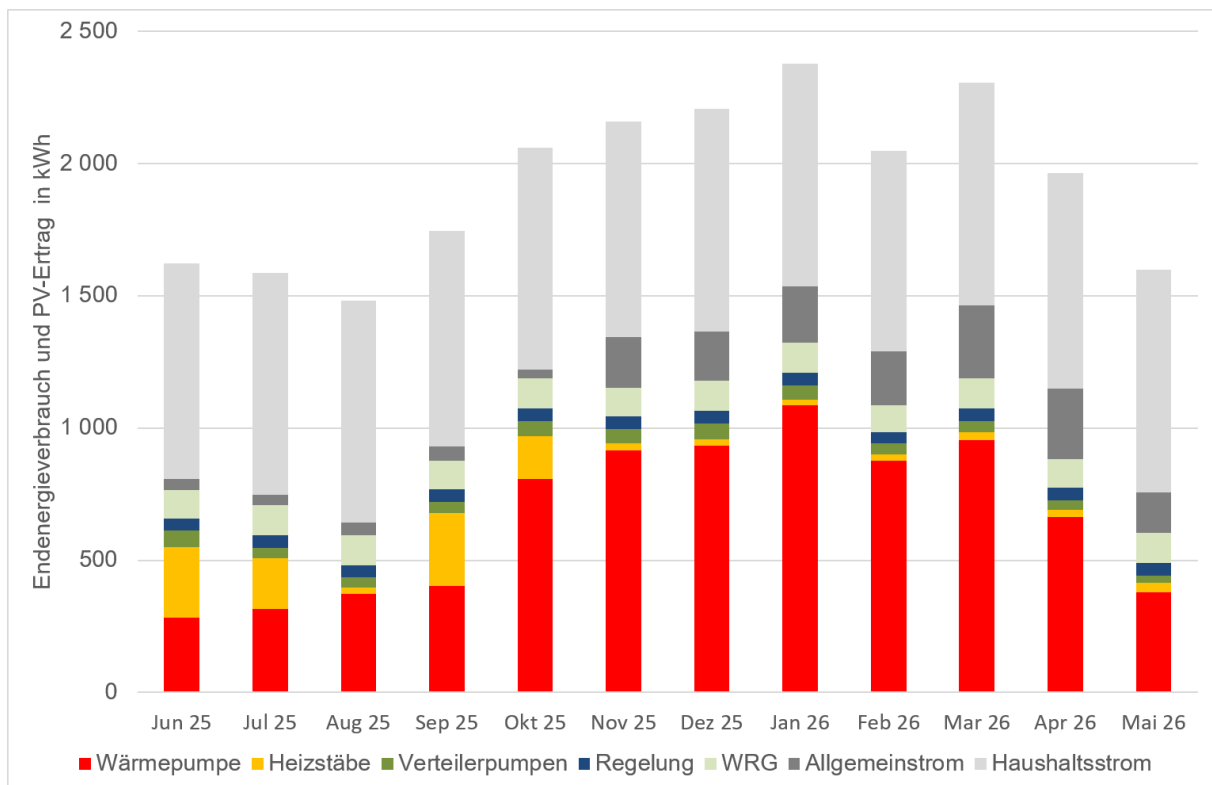


Abbildung 94: Monatswerte des Endenergieverbrauchs vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen in kWh; Quellen: Siemens-MSR und VKW-Zähler für Haustechnik, VKW-Zähler Allgemeinstrom, AEE-Zähler Haushaltsstrom Quelle:

Wie die Abbildung zeigt, waren die Heizstäbe im Juni und Juli 2025 sowie im September und Oktober 2026 und damit außerhalb der Heizperiode in relevantem Ausmaß in Betrieb.

Zur Einordnung sind in der folgenden Tabelle die gemessenen Jahresverbräuche des zweiten Betriebsjahres den entsprechenden Werten der PHPP-Verbrauchsprognose gegenübergestellt..

Verbrauchsprognoseberechnung PHPP 10.6		Monitoring Juni 25 bis Mai 26	
Nutzung nach Schätzung EIV		Nutzung real	
Anwendung	kWh/(m ² _{WNFA})	Anwendung	kWh/(m ² _{WNFA})
Haushalts- und Allgemeinstrom	29,0	Haushalt	28,4
		Allgemein	4,9
Hilfsstrom	9,0	Lüftung	3,8
		MSR	1,6
		Pumpen	1,6
Heizung + Warmwasser	27,0	Heizstab	3,2
		Wärmepumpe	22,9
Summe	65,0	Summe	66,4

Tabelle 20: spezifischer Endenergieverbrauch zweites Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendungen – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung, Haus 19

Die Gegenüberstellung zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Monitoringwerte des zweiten Betriebsjahres nach der Sanierung mit der vorab durchgeführten PHPP-Verbrauchsprognose. Die berechneten, sehr niedrigen Endenergieverbräuche werden im zweiten Betriebsjahr nahezu erreicht. Der Gesamt-Endenergieverbrauch über alle Anwendungen liegt lediglich um 1,4 kWh/(m²_{WNFA}) bzw. 2,2 % über dem prognostizierten Wert. Der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser liegt um 0,9 kWh/(m²_{WNFA}) sogar unter dem berechneten Wert, obwohl die mittlere Raumlufthtemperatur während der Heizperiode mit 23,0 °C um 0,5 K über der in der Verbrauchsprognose angenommenen Temperatur lag und ein Teil der Wärmeerzeugung durch die elektrischen Heizstäbe erfolgte..

Zur Einordnung der Verbrauchswerte nach der Sanierung zeigt die folgende Abbildung einen Vergleich mit dem Verbrauch des unsanierten Gebäudes. Während das Gebäude in Realität vor der Sanierung von Wohnung zu Wohnung unterschiedliche, dezentrale Heizwärme-Versorgungssysteme hatte (Elektro-Speicherofen, Infrarotheizung, Holz-Einzelofen und Kombinationen der genannten Systeme), wurde für den Vergleich eine rein elektrische Beheizung über Infrarotheizungen angenommen. Der Verbrauch des unsanierten Gebäudes ist für drei mittlere Raumlufthtemperaturen dargestellt: 21,6°C - der vor Sanierung gemessene Mittelwert der Raumlufthtemperatur aller Wohnungen⁵, 20°C als Standard-Annahme und 18°C.

⁵ Genauere Erläuterungen zur Ermittlung des Verbrauchs vor Sanierung finden sich im Zwischenbericht (Ploss, 2025).

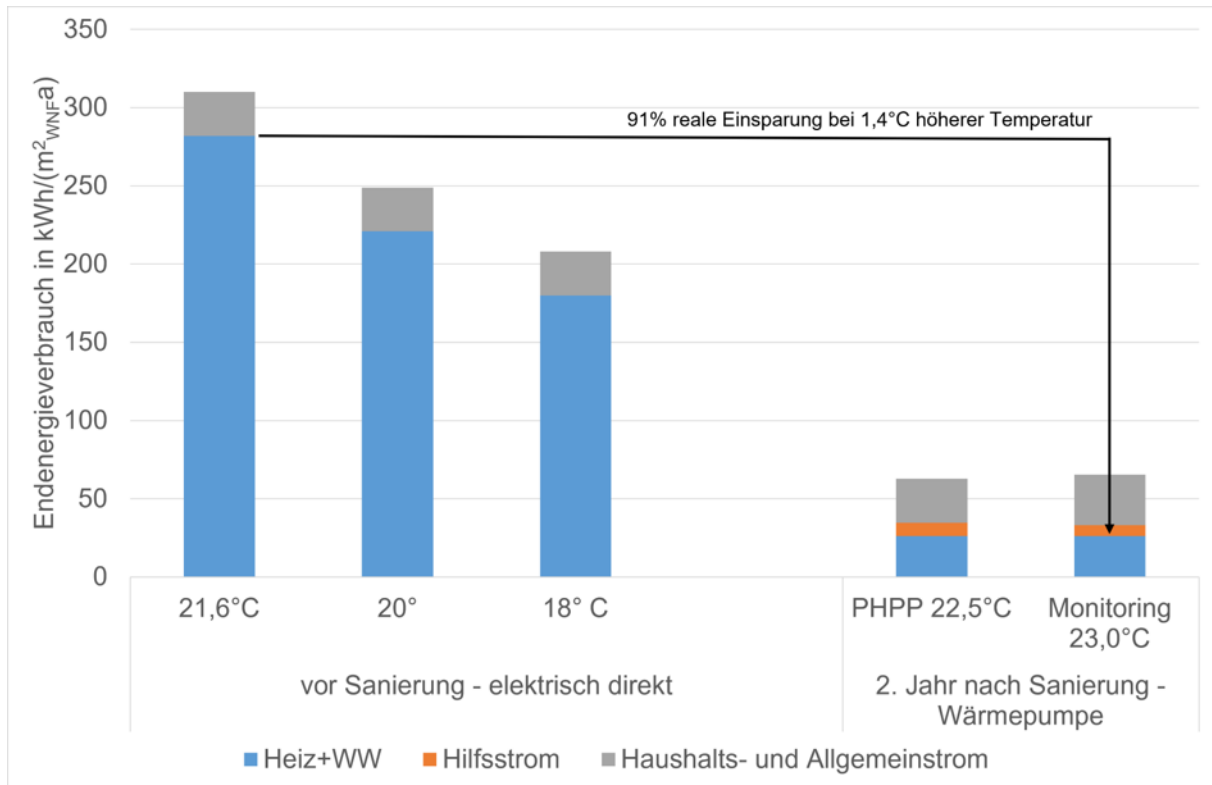


Abbildung 95: spezifischer Endenergieverbrauch Haus 19 vor Sanierung und im zweiten Jahr nach der Sanierung nach Anwendungen;

Der spezifische Endenergieverbrauch_{Heizung+WW} des kleinen Gebäudes im zweiten Betriebsjahr lag mit 26,1 kWh/(m²_{WNFA}) um 91% unter dem Wert des unsanierten Gebäudes bei der vor Sanierung gemessenen Heizperioden-Mitteltemperatur von 21,6°C und direktelektrischer Beheizung. Die Einsparung wurde erzielt, obwohl die mittlere Raumlufttemperatur während der zweiten Heizperiode nach der Sanierung mit 23,0°C um 1,4°C höher lag als vor der Sanierung. Die mittlere Außenlufttemperatur in der Heizperiode entsprach in etwa dem langjährigen Mittel. Der gesamte Haustechnikstromverbrauch betrug 33,1 kWh/(m²_{WNFA}). Der Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen lag mit 66,4 kWh/(m²_{WNFA}) um 79% unter dem Wert von 310 kWh/(m²_{WNFA}) vor Sanierung⁶.

⁶ Spezifische Energiekennwerte werden in diesem Bericht – wenn nicht anders spezifiziert - wie in Energiekostenabrechnungen auf den m² Wohnnutzfläche und nicht wie im Energieausweis auf die BGF bezogen. Bei Bezug auf die BGF ergeben sich für beide Gebäude um 30% niedrigere flächenspezifische Werte.

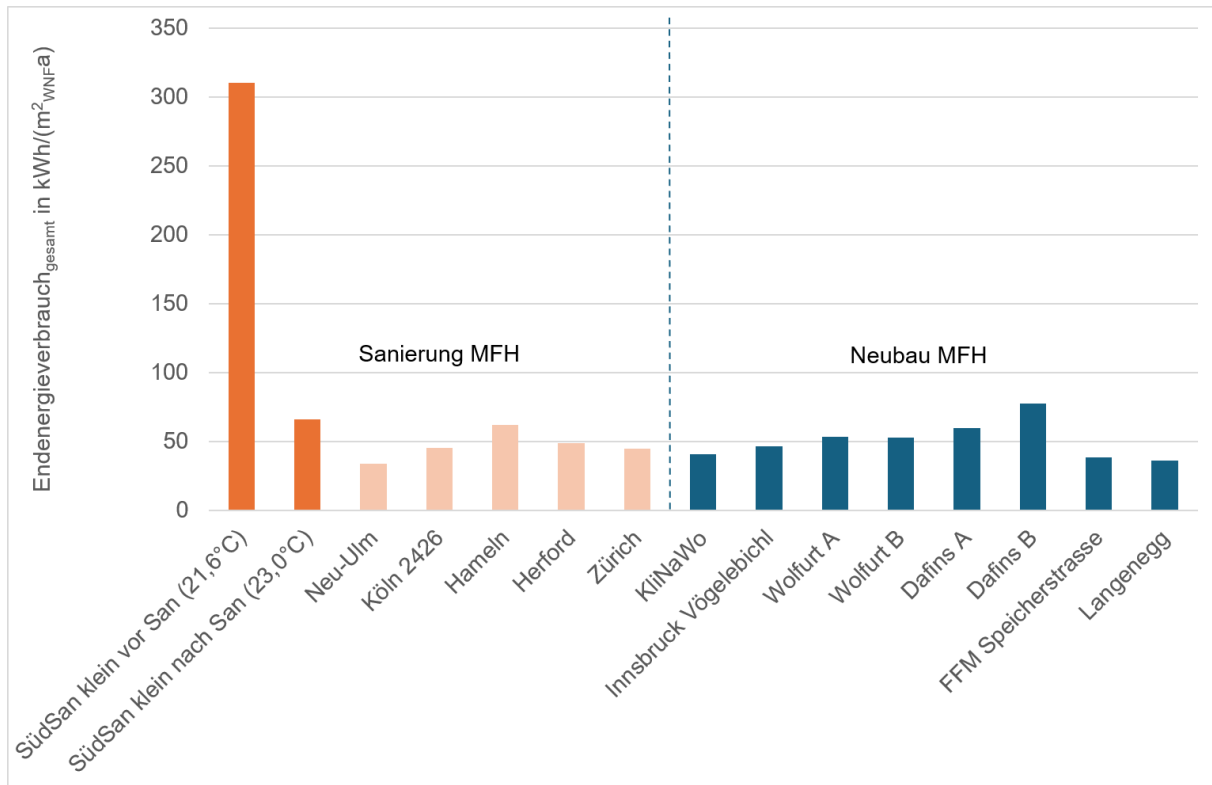


Abbildung 96: spezifischer Endenergieverbrauchgesamt hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und -Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}) (Ploss, 2022), (Ploss, 2024)

Der spezifische Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen, d.h. inkl. Haushalts- und Allgemeinstrom, liegt mit 66,4 kWh/(m²_{WNFA}) im zweiten Betriebsjahr etwas höher, als die Werte der besten Sanierungsprojekte im deutschsprachigen Raum. Hauptgrund ist der aufgrund der dichten Personenbelegung hohe spezifische Haushaltsstrom. Der Verbrauchsanteil für die Haustechnik ist sehr gut.

4.2.2 Energieverbrauch Heizung und Warmwasser

Die folgende Grafik zeigt die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe im zweiten Messjahr nach der Sanierung.

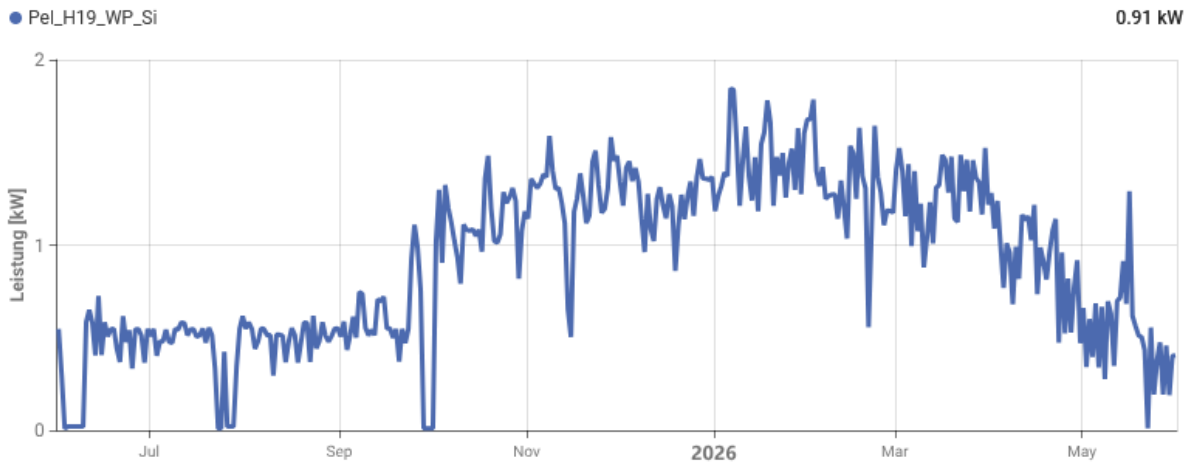


Abbildung 97: Haus 19, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte

Die Kurve zeigt den Jahresverlauf als Tagesmittelwerte. Der Maximalwert von 1,85kW am 5.Jänner 2026 ist als Tagesmittelwert dargestellt, wird die Leistung als Stundenmittelwert dargestellt, so erreicht die Leistung an diesem Tag einen maximalen Wert von 3,4kW. Zu erkennen sind die kurzfristigen Ausfälle der Wärmepumpe im Juni und Juli, sowie Ende September/Anfang Oktober, in denen die el. Heizstäbe in Betrieb gingen. Der Verlauf der Leistungsaufnahme der Heizstäbe kann nicht dargestellt werden, da sie nicht wie geplant in der Siemens-MSR aufgezeichnet wurden. Die Aufschaltung erfolgte erst Ende Juni 2026.

Zu erkennen ist auch der kurzzeitige Anstieg der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe aufgrund eines Kälteeinbruchs im Mai 2026.

4.2.3 Endenergieverbrauch Hilfsstrom

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der Verteilerpumpen und der MSR gemeinsam mit der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und der elektrischen Heizstäbe.

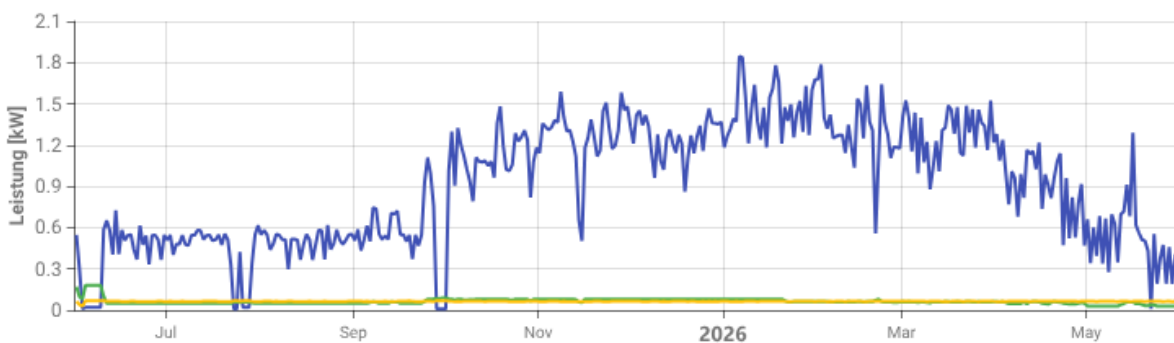


Abbildung 98: Haus 19, el. Leistung Wärmepumpe, Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Der Jahresverbrauch der Verteilerpumpen betrug 560 kWh/a bzw. $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der Verbrauch der MSR betrug 561 kWh/a. Dies entspricht $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der Leistungsaufnahme der Verteilerpumpen und der Siemens-MSR in verändertem Maßstab.

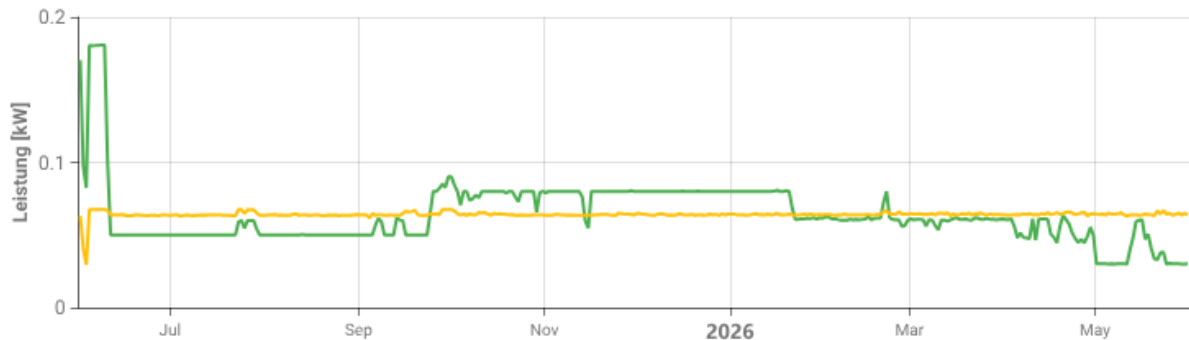


Abbildung 99: Haus 19, el. Leistung Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Während die MSR eine ganzjährig gleiche Leistungsaufnahme von etwa 64 W hat, lag die tagesmittlere Leistungsaufnahme der Pumpen im Sommer 2025 bei etwa 50 W, am Anfang der Heizperiode 25/26 bei etwa 80 W, am Ende der Heizperiode bei etwa 60 W und in der heizfreien Zeit im Mai 2026 bei etwa 30 W.

Der Verbrauch der Warmwassermwälzpumpe kann anhand der Monitoring-Werte für den Sommer bestimmt werden, da in dieser Zeit die Heizungsumwälzpumpe nicht in Betrieb ist. Im Sommer lag die Pumpenleistung im Mittel bei ca. 45 W. Rechnet man diesen Wert auf das Jahr hoch, so ergibt sich ein Anteil von etwa 400 kWh/a für die Warmwasser-Umwälzpumpe. Dies entspricht $1,14 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$. Aus dem Gesamtverbrauch der Pumpen von 560 kWh/a kann der Verbrauch der Heizungsumwälzpumpe zu 160 kWh/a bestimmt werden. Dies entspricht $0,46 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

4.2.4 Endenergieverbrauch Haushaltsstrom

Die folgende Abbildung zeigt den spezifischen Haushaltsstromverbrauch von 5 der 6 Wohnungen in der zweiten Messperiode. Wegen eines Messdatenausfalls liegt für die sechste Wohnung kein Wert vor.

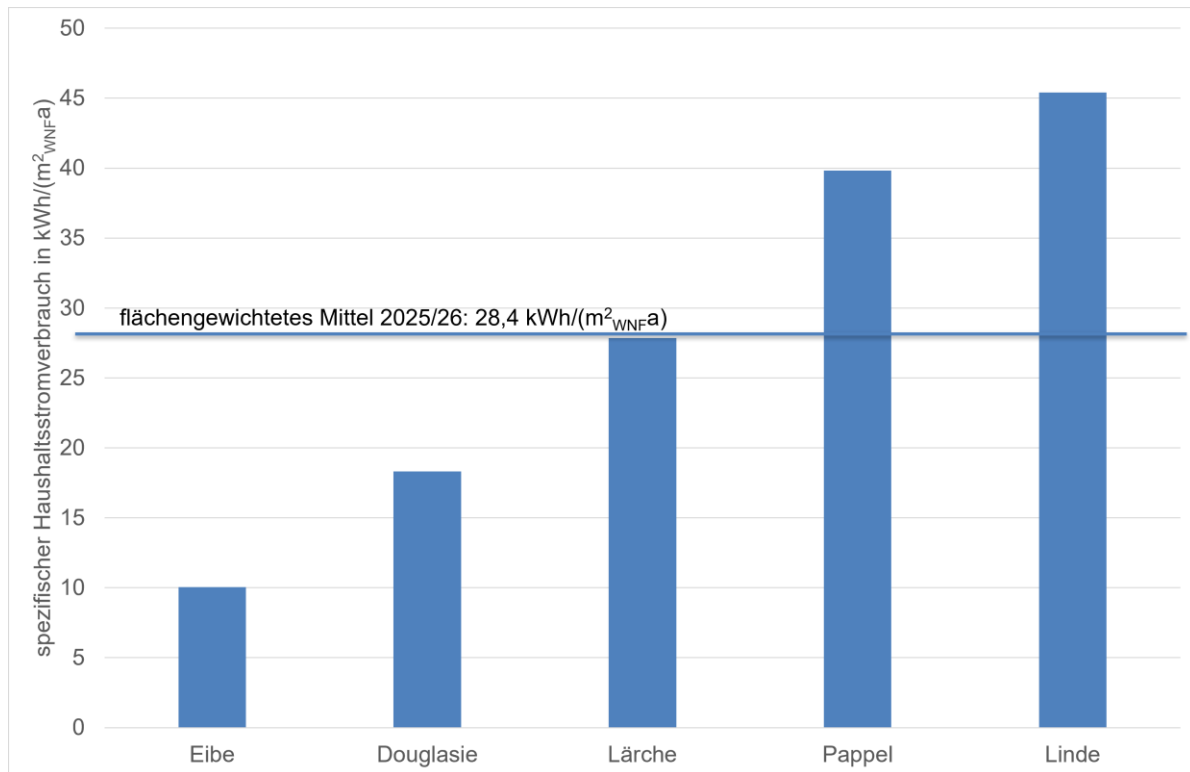


Abbildung 100: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Haushaltsstromverbrauchs der Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung; Haus 19

Der mittlere Verbrauch liegt bei 28,4 kWh/(m²_{WNFA}) und ist damit nahezu identisch wie im ersten Messjahr nach der Sanierung.

Dieser Verbrauch liegt um etwa 13% unter dem österreichischen Durchschnittsverbrauch von 6 Haushalten der gleichen Personenanzahl und ohne elektrische Heizung und Warmwasserbereitung. Dieser lag 2016 für den Mix an Haushaltsgrößen (4 Einpersonenhaushalte, 1 Zweipersonenhaushalt, 1 Fünfpersonenhaushalt) bei 32,2 kWh/(m²_{WNFA}) (Bittermann, 2018).

Die Werte der 5 berücksichtigten Wohnungen liegen zwischen 10,1 und 45,4 kWh/(m²_{WNFA}). Der flächenspezifische Stromverbrauch liegt aufgrund der höheren Belegungsdichte (31,7m² pro-Kopf-Wohnfläche im Vergleich zu 53,3 m²) höher als im großen Gebäude.

4.2.5 Heizwärmeverbrauch

Der spezifische Heizwärmeverbrauch des kleinen Gebäudes im zweiten Messjahr nach der Sanierung betrug 42,1 kWh/(m²_{WNFA}). Der Wert wurde durch den Wärmemengenzähler im Heizkreis am Ausgang des Speichers ermittelt. Im Verbrauch sind daher die Verluste der horizontalen Wärmeverteilung im Keller sowie die der vertikalen Verteilung enthalten, die im Wärmedämm-Verbundsystem erfolgt. Der flächengewichtete Mittelwert der Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag bei 23,0°C.

Der gemessene Verbrauch liegt merklich unter dem Wert der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung. Dieser lag bei der angenommenen mittleren Raumlufthtemperatur von 22,5°C bei 53,7 kWh/(m²_{WNFA}). Korrigiert man die mittlere Raumlufthtemperatur in der Verbrauchsprognoseberechnung auf den Messwert von 23,0°C, so ergibt sich ein Wert von 56,8 kWh/(m²_{WNFA}). Abbildung 101 zeigt den Verlauf der Monatswerte des Heizwärmeverbrauchs. Sie verdeutlicht, dass der weitaus größte Anteil des Heizwärmeverbrauchs in den Monaten Oktober bis März anfiel – nur 4,8 kWh/(m²_{WNFA}) oder 11,5% fallen außerhalb dieses Zeitraums an.

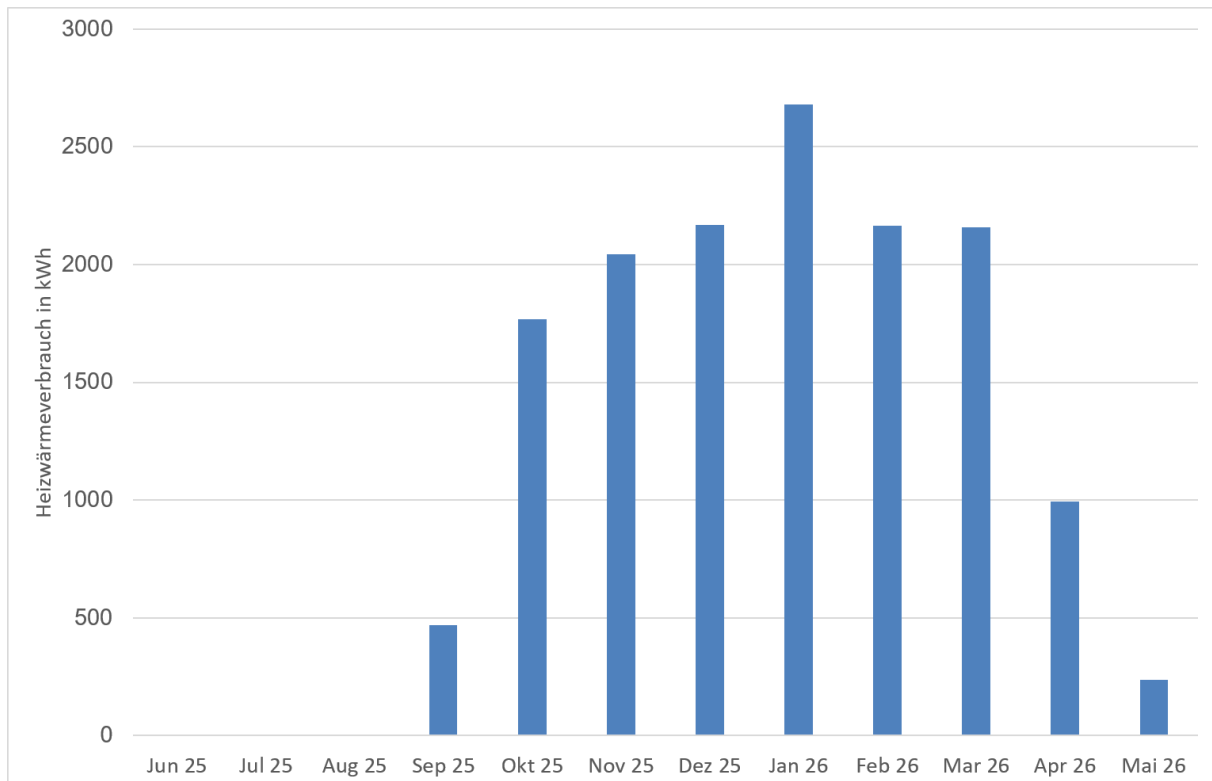


Abbildung 101: Haus 19, Heizwärmeverbrauch Juni 2025 bis Mai 2026, Monatswerte; Quelle: MSR Siemens

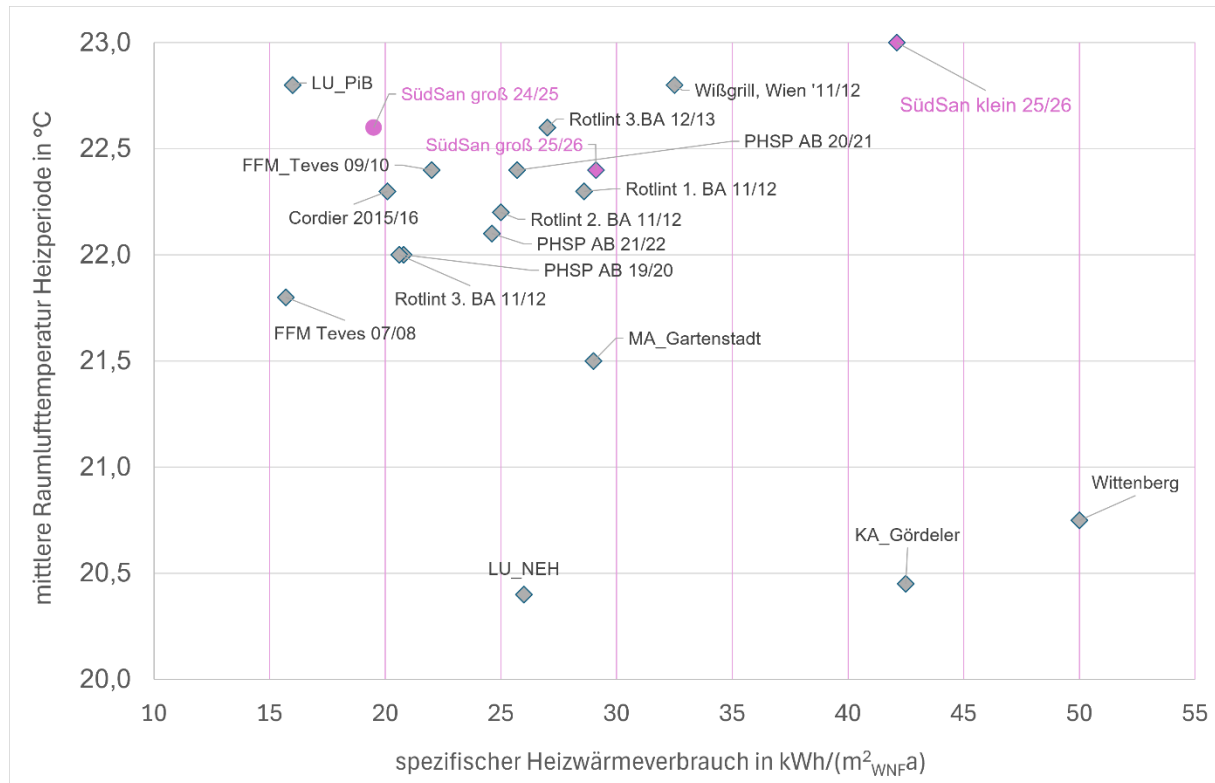


Abbildung 102: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), bereinigt um Neubauprojekte und ergänzt um das Projekt SüdSan groß im ersten und zweiten Betriebsjahr sowie das Projekt SüdSan klein im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung

Der spezifische Heizwärmeverbrauch des kleinen SüdSan-Gebäudes liegt bei fast identischen U-Werten der Gebäudehülle höher als der des großen Gebäudes. Hauptgrund ist das ungünstigere Verhältnis von thermischer Hüllfläche zu Wohnnutzfläche, ein weiterer Grund die nochmals höhere mittlere Raumlufttemperatur.

Die Verbräuche der einzelnen Wohnungen liegen auch für das zweite Messjahr nach der Sanierung noch nicht vor, da die Heizkostenverteiler von der Fa. Techem erst im Januar 2026 installiert wurden.

4.2.6 Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme)

Die folgende Tabelle zeigt den Wärmeverbrauch Warmwasser der Wohnungen gemäß der Techem-Wärmemengenzähler in den Frischwasserstationen.

	Douglasie	Eibe	Lärche	Linde	Pappel	Weide	Summe/Mittel
Jahresverbrauch in kWh/a	1 266	80	234	603	1 129	132	3 444
WNF in m ²	72,75	51,00	33,70	59,25	59,25	72,75	348,70
spez. Verbrauch in kWh/(m ² _{WNF} ·a)	17,4	1,6	6,9	10,2	19,1	1,8	9,9

Tabelle 21: Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme) im zweiten Messjahr nach der Sanierung – Haus 19; Quelle: WMZ Techem

Der mittlere Nutzwärmeverbrauch für Warmwasser liegt bei $9,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Dies ist – analog zum Warmwasserverbrauch in m^3 – ein niedriger Wert.

4.2.7 Effizienz der Wärmeerzeugung

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der modulierenden Wärmepumpe sowie ihre Wärmeabgabe in den Speicher und den Verlauf der Arbeitszahl

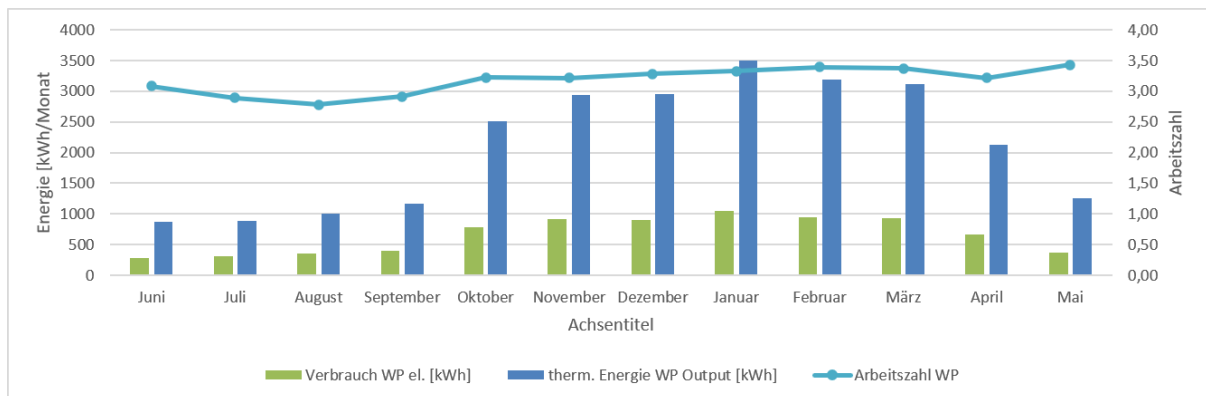


Abbildung 103: Haus 19, Leistungen modulierende Erd-Wärmepumpe, Juni 2025 bis Mai 2026, Monatspasis; Quelle: MSR Siemens; grün: el. Leistung Wärmepumpe; blau: Wärmeabgabe Wärmepumpe; hellblau: Arbeitszahl

Der Endenergieverbrauch für die Wärmepumpe beträgt $22,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der Wärmeoutput der Wärmepumpe beträgt 25.560 kWh/a , dies entspricht $73,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

In der folgenden Tabelle sind die Jahres- und die Monatsarbeitszahlen der Wärmeerzeugung dargestellt. Diese wurde aus dem Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Heizstäbe auf der einen und ihrer thermischen Wärmeabgabe auf der anderen Seite berechnet. Datenquelle sind die Siemens-Strom- und Wärmemengenzähler.

	Verbrauch WP el.	therm. Energie WP Output	Verbrauch Heizstäbe el.	Verbrauch WP el.	therm. Energie WP Output	Arbeitszahl WP+Heizstäbe	Arbeitszahl WP
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m²wnf]	[kWh/m²wnf]		
Juni	283	873	269	0,8	2,5	1,58	3,08
Juli	317	918	190	0,9	2,6	1,81	2,89
August	374	1040	24	1,1	3,0	2,62	2,78
September	403	1173	275	1,2	3,4	1,73	2,91
Oktober	807	2602	160	2,3	7,5	2,69	3,23
November	916	2943	25	2,6	8,5	3,13	3,21
Dezember	932	3060	26	2,7	8,8	3,19	3,28
Januar	1085	3606	21	3,1	10,4	3,26	3,32
Februar	878	2982	23	2,5	8,6	3,31	3,40
März	957	3222	29	2,7	9,3	3,27	3,37
April	663	2134	26	1,9	6,1	3,10	3,22
Mai	380	1302	35	1,1	3,7	3,14	3,43
Summe/ Mittelwert	7994	25854	1103	23,0	74,3	2,84	3,23

Tabelle 22: Monats- und Jahresarbeitszahl der Wärmeerzeugung (Wärmepumpe + Heizstäbe)

Die Arbeitszahlen nur für die Wärmepumpe ist mit 3,24 noch unter den Möglichkeiten. Die Hauptgründe dafür liegen in der viel zu hohen Temperaturniveaus des gesamten Hydrauliksystems. In den unten folgenden Diagrammen wird auf diesen Umstand noch weiter eingegangen.

gangen. Der höchste Monatswert wurde im Mai 2026 mit 3,43 erreicht. Im August 2025 wurden mit 2,78 die niedrigsten Monatsarbeitszahlen erreicht. Die Werte beziehen sich auf die reine Wärmepumpenleistung, ein Nachheizen im Speicher durch el. Heizstäbe wurde in diesen Überlegungen nicht berücksichtigt

Abbildung 104 zeigt die Speichertemperaturen für die Heizung bzw. für die Warmwasserbereitung über die komplette Heizsaison 2025/2026. Die beiden gepunkteten Linien stellen den Vor- und den Rücklauf für die Warmwasserbereitung dar und sind mit 58°C im Vorlauf und 51°C für den Rücklauf viel zu hoch. Erst im Mai 2025 wurden diese Temperaturen an den tatsächlichen Bedarf angepasst. Das ist auch der Hauptgrund für die unterdurchschnittliche Arbeitszahl der Wärmepumpe bzw. für die hohen Netzverluste bei der Warmwasserbereitung.



Abbildung 104: Haus 19 Temperaturverläufe im Heizungsspeicher und im Speicher der Warmwasserbereitung

Abbildung 105 zeigt die aktuelle Situation der Warmwasserbereitung. Rosa gepunktet stellt den Vorlauf der Warmwasserbereitung dar, blau gepunktet den Rücklauf. Der Vorauf bewegt sich zwischen 50 und 55°C der Rücklauf schwankt um der 35°C. Diese Situation führt zu einer vernünftigen Speicherschichtung und zu niedrigen Netzverlusten.

Temperaturen Speicher

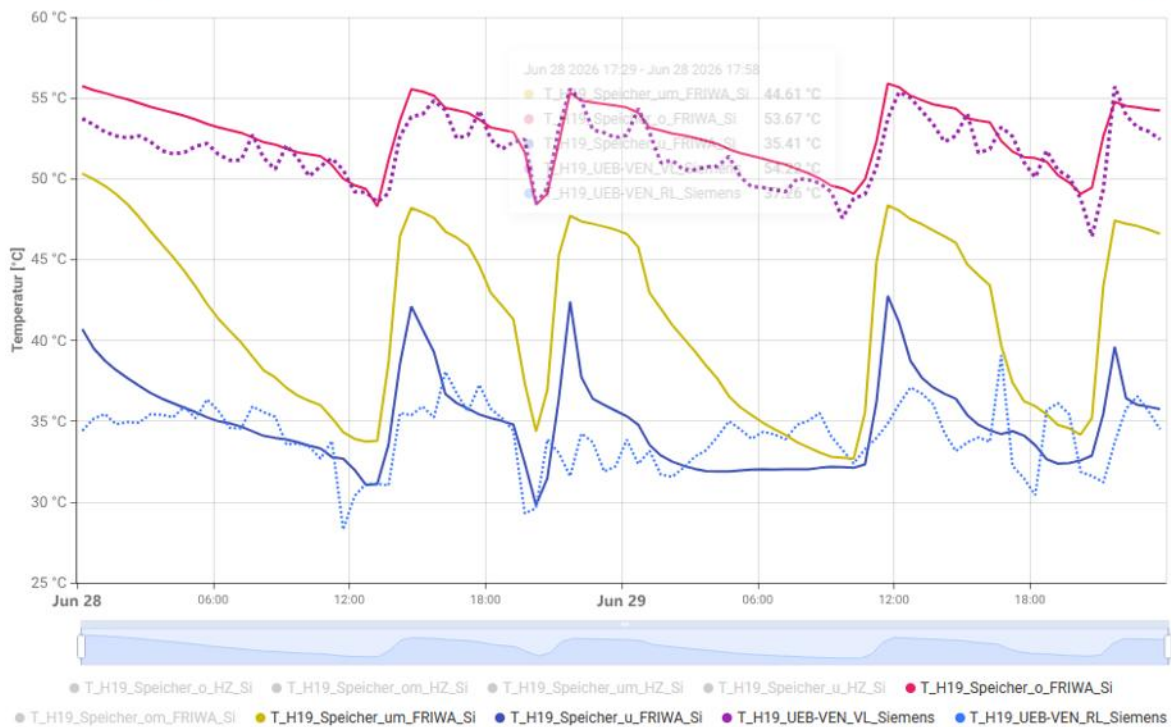


Abbildung 105: Haus 19 Temperaturverläufe Warmwasserbereitung

4.2.8 Lade-, Speicher- und Verteilverluste

Die folgende Tabelle zeigt die Wärmebilanz der Wärmespeicher für den ganzjährigen Messzeitraum.

	Mittlere Leistung	Wärmemenge	spez. Wärmemenge
	[kW]	[kWh/a]	[kWh/(m ² _{WNFA})]
Wärmemenge aus WP in Speicher	2,95	25854	74,3
Heizstab im Speicher	0,13	1103	3,2
Summe Wärme in Speicher		26957	77,5
Wärmemengeverbrauch der WW-Bereitung Wohnungszähler	-0,39	-3444	-9,9
Wärmemenge aus Speicher in Heizkreis	-1,68	-14679	-42,2
Summe Wärmemenge Verbrauch		-18123	-52,1
Gesamtverluste		-8834	-25,4
Gesamtverluste in [%]		32,8	

Tabelle 23: Wärmebilanz der Wärmespeicher Haus 19; 01.06.2025 bis 31.05.2026

Die Lade-, Speicher- und Verteilverluste ergeben sich aus der Differenz zwischen dem Wärmeeintrag und dem Wärmeaustrag. Der Wärmeeintrag setzt sich aus der von der Wärmepumpe bereitgestellten Wärme sowie der Wärmeabgabe der Heizstäbe im Speicher zusammen. Der Wärmeaustrag umfasst die aus dem Speicher an den Heizkreis sowie an den Warmwasserkreis abgegebene Wärme. Der Wärmemengenverbrauch der Warmwasserbereitung, der in den Wohnungen Mittes eigenem Wärmemengenzähler gemessen wird umfasst auch die Verteilverluste.

Der Wärmeeintrag in den Speicher beträgt $77,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, während der Wärmeaustrag bei $52,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ liegt. Daraus ergeben sich Gesamterluste von $25,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

In Abbildung 106 sind die folgenden Wärmeströme im Gebäude als Monatswerte dargestellt.

- Wärmeeintrag in Summe Wärmepumpe und Heizstäbe
- Heizwärmeverbrauch
- Nutzwärme Warmwasser
- Lade-, Speicher und Verteilverluste

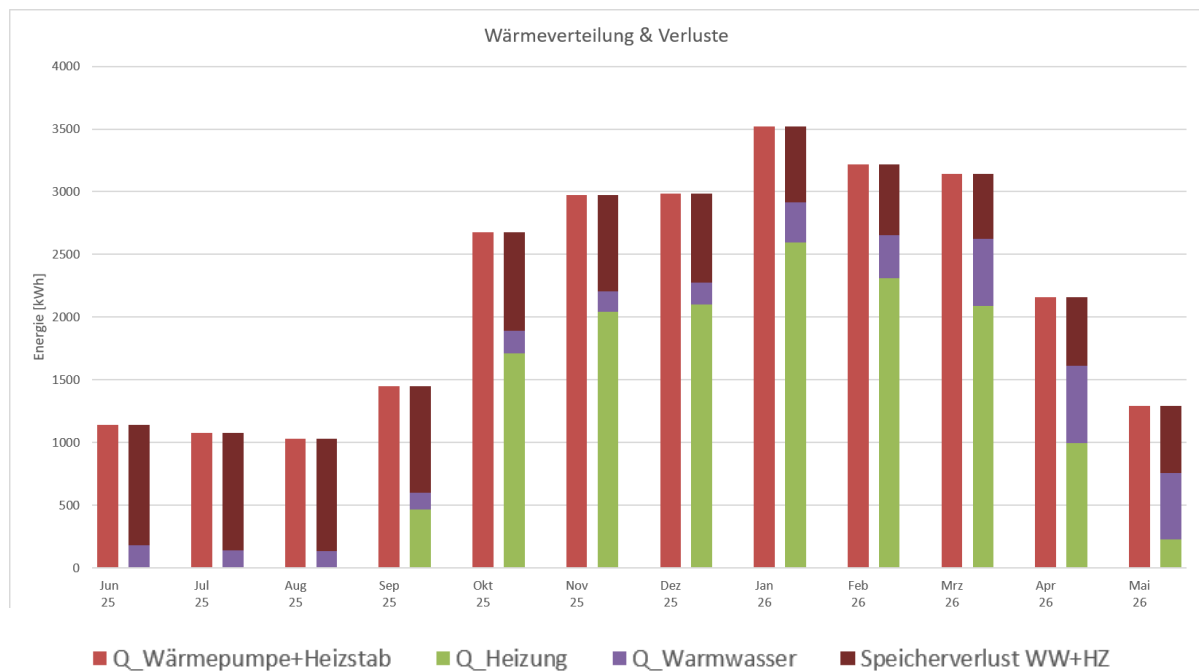


Abbildung 106: Haus 12a, Wärmeverteilung – Verluste im zweiten Messjahr nach der Sanierung

In den Heizmonaten dominiert der Anteil der Raumheizung deutlich, während die Energie für die Bereitstellung von Warmwasser über das Jahr hinweg relativ konstant bleibt. Die Gesamtverluste machen über das ganze Jahr hinweg einen signifikanten Anteil am Gesamtenergieeinsatz aus – insbesondere in den Sommermonaten, wenn nur Warmwasser bereit wird. In dieser Zeit entstehen anteilig die höchsten Verluste, da der absolute Nutzwärmeverbrauch gering ist und die Verluste vergleichsweise konstant bleiben. Vergleicht man den Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung im Juni 2025 mit dem Wert für Mai 2026 ist die signifikante Effizienzsteigerung deutlich zu erkennen. Betrugten die Systemverluste im Juni 2025 noch 962 kWh im Monat, so sinken diese im Mai 2026 schon auf 539 kWh monatlich ab. Zu erwarten ist, dass diese Verluste in weiterer Folge nochmals deutlich abfallen, da die letzten Maßnahmen erst im Juni 2026 umgesetzt wurden.

4.2.9 PV-Stromerzeugung

Die wichtigsten Daten zur Aufdach-PV-Anlage und zum Jahresertrag im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

installierte Leistung	16,2	kW _p
Modulfläche	78	m ²
Orientierung Dachneigung	20° aus Südrichtung Richtung Ost 45°	°
Jahresertrag	19.545	kWh
spez. Jahresertrag	1.206	kWh/kW _p
wohnflächenspezifischer Ertrag	56,1	kWh/m ² _{WNF}
modulflächenspezifischer Ertrag	250,6	kWh/m ² _{Modul}
Ertrag pro m ² überbaute Fläche	99,2	kWh/m ² _{überbaute Fläche}

Tabelle 24: Kenndaten und Jahresertrag der PV-Anlage im zweiten Messjahr nach der Sanierung; Haus 19

Die folgende Abbildung zeigt die Monatswerte der PV-Stromerzeugung im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung und die Vergleichswerte des ersten Jahres.

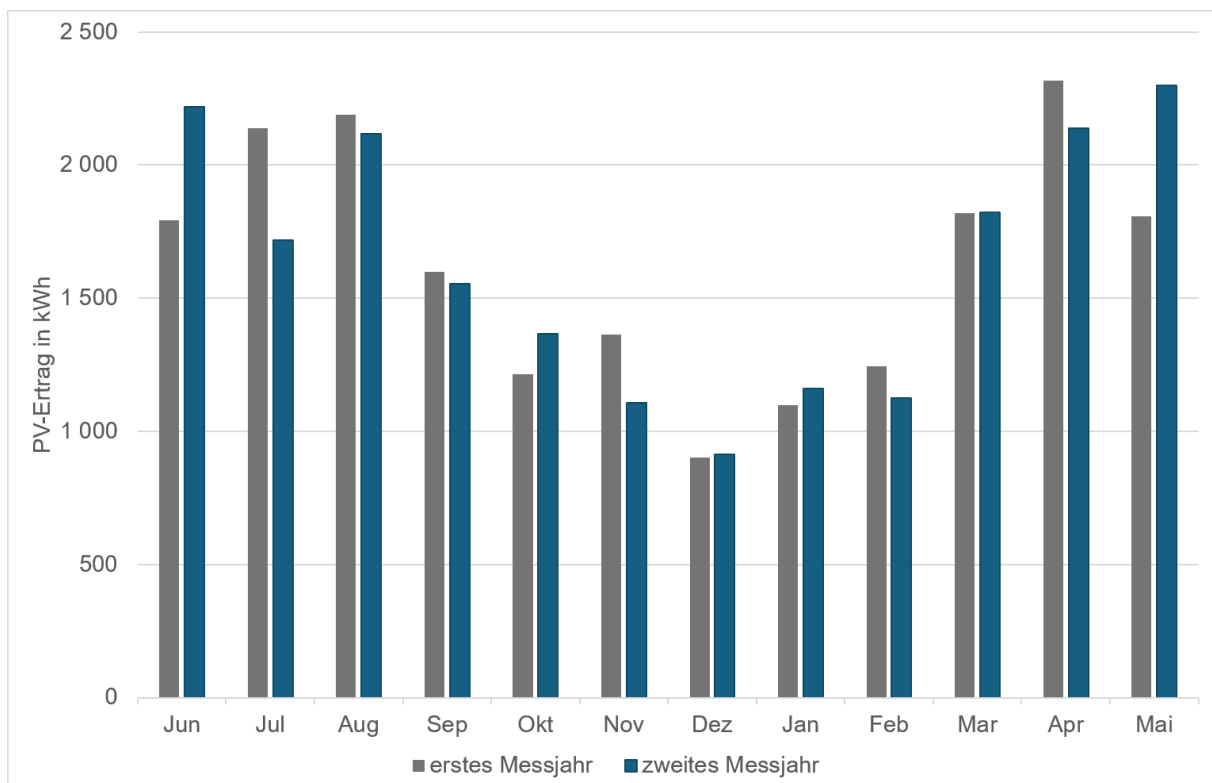


Abbildung 107: Haus 19, PV-Stromerzeugung im ersten und zweiten Messjahr nach der Sanierung, Monatswerte; Quelle: online-Plattform Wechselrichterhersteller

Der Jahresertrag der 16,2 kW_p-PV-Anlage lag im zweiten Messjahr bei 19.545 kWh/a. Dies entspricht 1.206 kWh/kW_p. Der flächenspezifische Ertrag liegt bei 56,1 kWh/(m²_{WNFA}).

Der Jahresertrag ist damit um knapp 16% höher als der Wert gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung und liegt um 1,3% über dem Berechnungsergebnis des Anlagenanbieters. Hauptgrund für den hohen Ertrag ist das höhere Strahlungsangebot: Die Globalstrahlung im Messzeitraum lag um knapp 11% höher als die in der PHPP-Berechnung verwendeten Werte gemäß Meteoronorm 8.04 für die neuere Periode (Meteoronorm Software, 2025). Der Ertrag im zweiten Messjahr nach der Sanierung liegt um 0,3% über dem Wert des ersten Jahres.

In der folgenden Abbildung sind die Monatswerte der PV-Erzeugung den Endenergieverbräuchen aller Energieanwendungen gegenübergestellt.

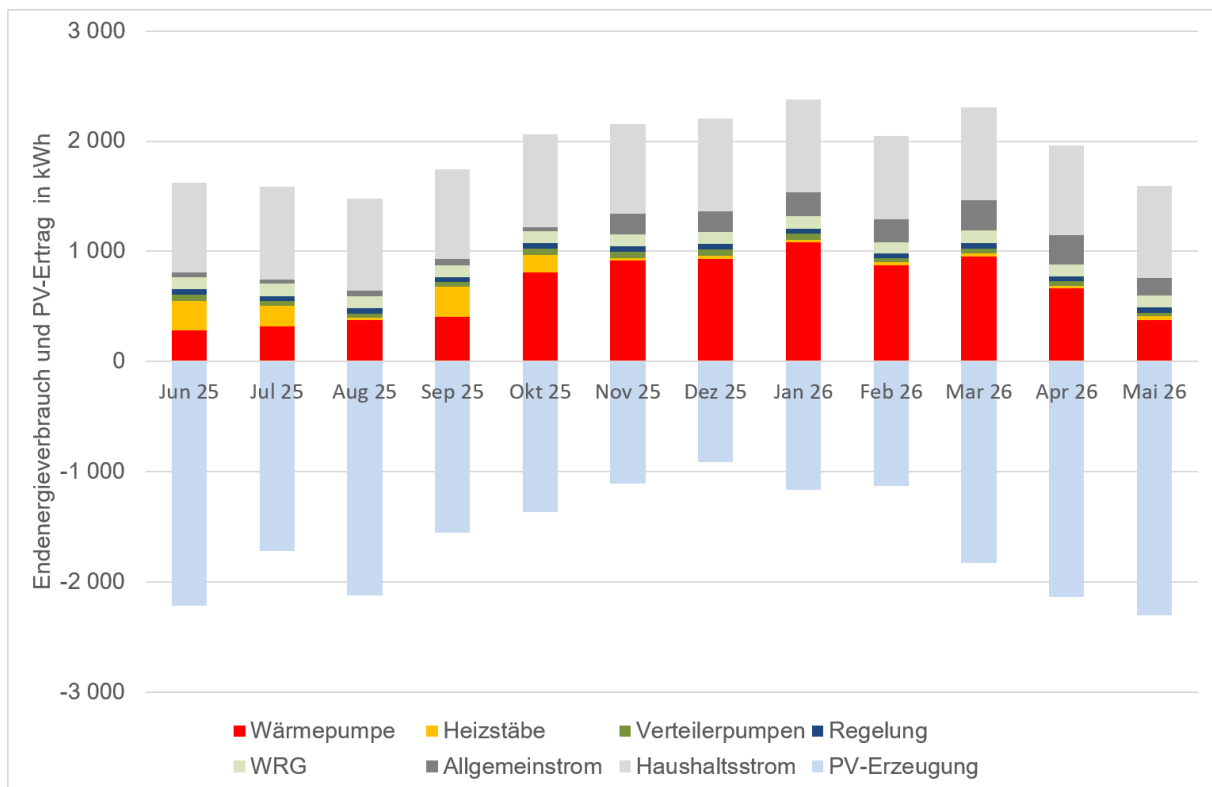


Abbildung 108: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag im zweiten Messjahr nach der Sanierung; Haus 19; Monatswerte

Der flächenspezifische PV-Jahresertrag liegt bei 56,1 kWh/(m²_{WNFA}). Er ist damit höher als der gesamte Endenergieverbrauch der Haustechnik einschließlich des Hilfsstroms, der in Summe 33,1 kWh/(m²_{WNFA}) beträgt. Der Gesamt-Endenergieverbrauch inkl. Allgemein- und Haushaltsstrom liegt bei 66,4 kWh/(m²_{WNFA}) und damit deutlich niedriger als im ersten Messjahr nach der Sanierung. Die Monatswerte des PV-Ertrags liegen von Juni bis August sowie im April und Mai über dem Gesamt-Endenergieverbrauch.

4.3 Optimierung der Haustechniksysteme im Betrieb

Einige der notwendigen Optimierungsmaßnahmen konnten erst während des zweiten Messjahrs nach der Sanierung durchgeführt oder abgeschlossen werden. Im zweiten Messjahr nach der Sanierung gingen keine grundlegenden Beschwerden der Bewohner zur Funktion der Haustechniksysteme ein. Die durchgeführten Optimierungen wurden auf Basis der Monitoringdaten durchgeführt. Die wichtigsten Optimierungsmaßnahmen werden nachfolgend beschrieben.

4.3.1 Hydraulischer Abgleich Frischwasserstationen und Rücklauftemperaturen

Warmwasser

Im ersten Betriebsjahr traten teilweise zu niedrige Warmwassertemperaturen sowie erhöhte Rücklauftemperaturen bei ausbleibender Warmwasserzapfung auf. Zur Behebung dieser Probleme wurden ein hydraulischer Abgleich sowie weitere Optimierungsmaßnahmen an den Frischwasserstationen durchgeführt. Das Vorgehen entsprach jenem in Haus 19 und ist in Kapitel 3.3 beschrieben; auf eine Wiederholung wird daher verzichtet.

Im dritten Optimierungsschritt wurde am 23.04.2026, kurz vor Ende des zweiten Messjahres, die Warmwasserzirkulationsbrücke in der letzten noch nicht angepassten Wohnung im Dachgeschoss auf etwa 30 bis 40 °C eingestellt (grobe Skalierung und Einstellmöglichkeit). Dadurch sank die Rücklauftemperatur der Frischwasserstation deutlich auf etwa 35 °C. Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

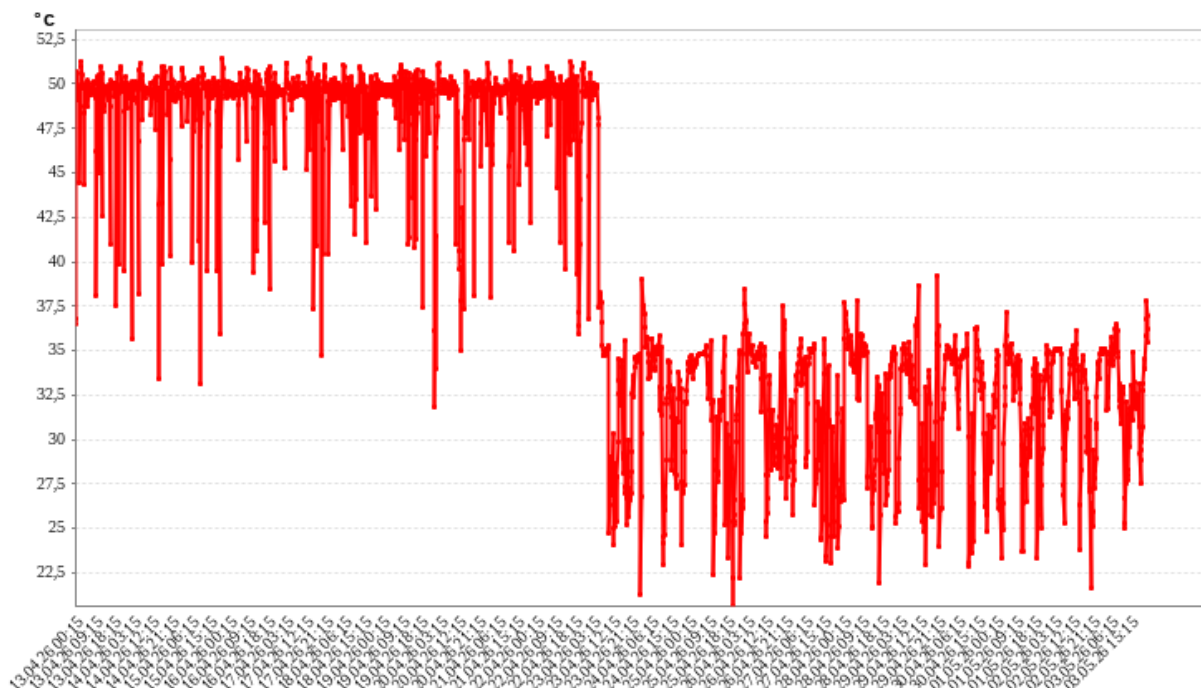


Abbildung 109: Rücklauftemperaturen der Frischwasserstationen (Mischtemperatur aller Stationen, Stundenmittelwert) im Haus 19 im Verlauf vom 13.4.2026 bis 3.5.2026 nach der letzten Optimierungsetappe.

4.3.2 Speichertemperaturen Warmwasser

Das Temperaturniveau im Warmwasserspeicher war im ersten Jahr und großen Teilen des zweiten Betriebsjahrs nach der Sanierung deutlich zu hoch, da die vorgegebenen optimalen Regelungsparameter für den Betrieb der Frischwasserstationen (kein 4-Leiter System mit Zirkulation) in der MSR nicht umgesetzt worden waren.

Die Umstellung der Zieltemperatur erfolgte am 13. Mai 2026 von 62°C auf 54°C und wird in nachfolgender Abbildung dargestellt. Während der Ladung des Speichers durch die Wärmepumpe fällt die Speichertemperatur oben ab. Beschreibung dazu, siehe nächstes Unterkapitel.

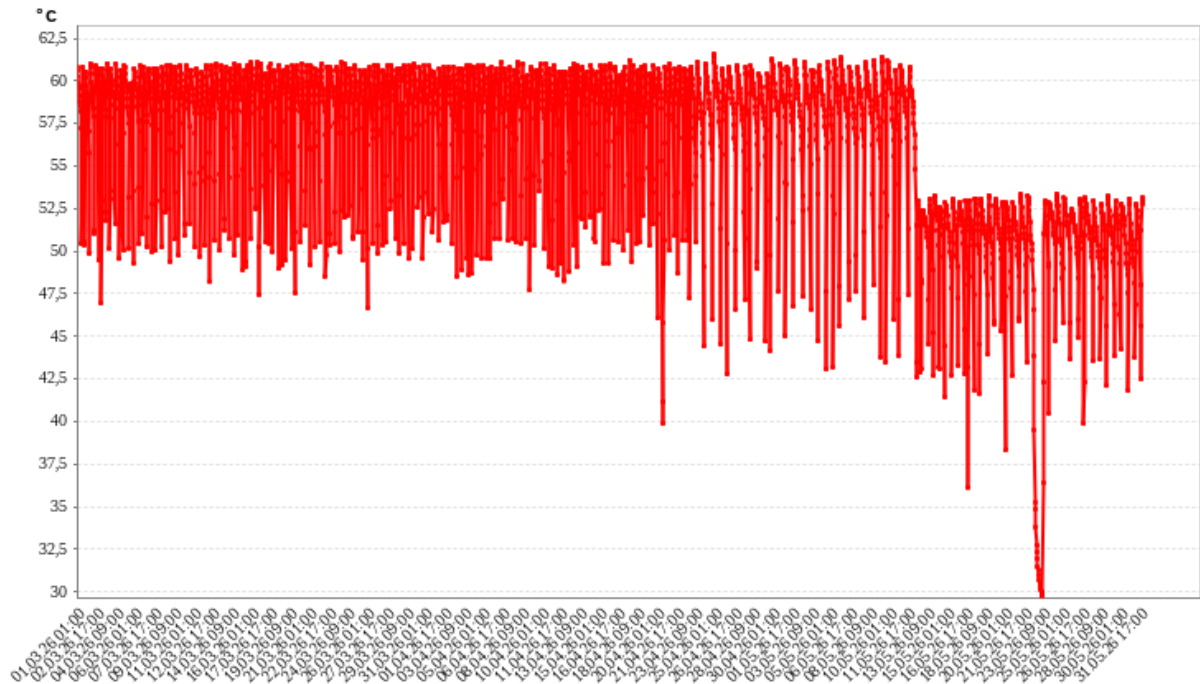


Abbildung 110: Haus 19, Speichertemperaturen Oben (Stundenmittelwert) im Verlauf vom 1.3.2026 bis 31.5.2026 mit der Optimierung am 13.5.2026.

4.3.3 Zieltemperaturbeladung der Warmwasserspeicherung durch MSR

Die Zieltemperaturbeladung wurde durch den MSR-Anbieter erst Ende Juni 2026 umgesetzt. Dies war notwendig, um eine komfortable Warmwasserzapftemperatur auch während des Beladevorgangs des Speichers durch die Wärmepumpe zu gewährleisten (siehe vorheriger Punkt). Die folgende Abbildung zeigt die Auswirkung auf das Temperaturniveau im Speicher.

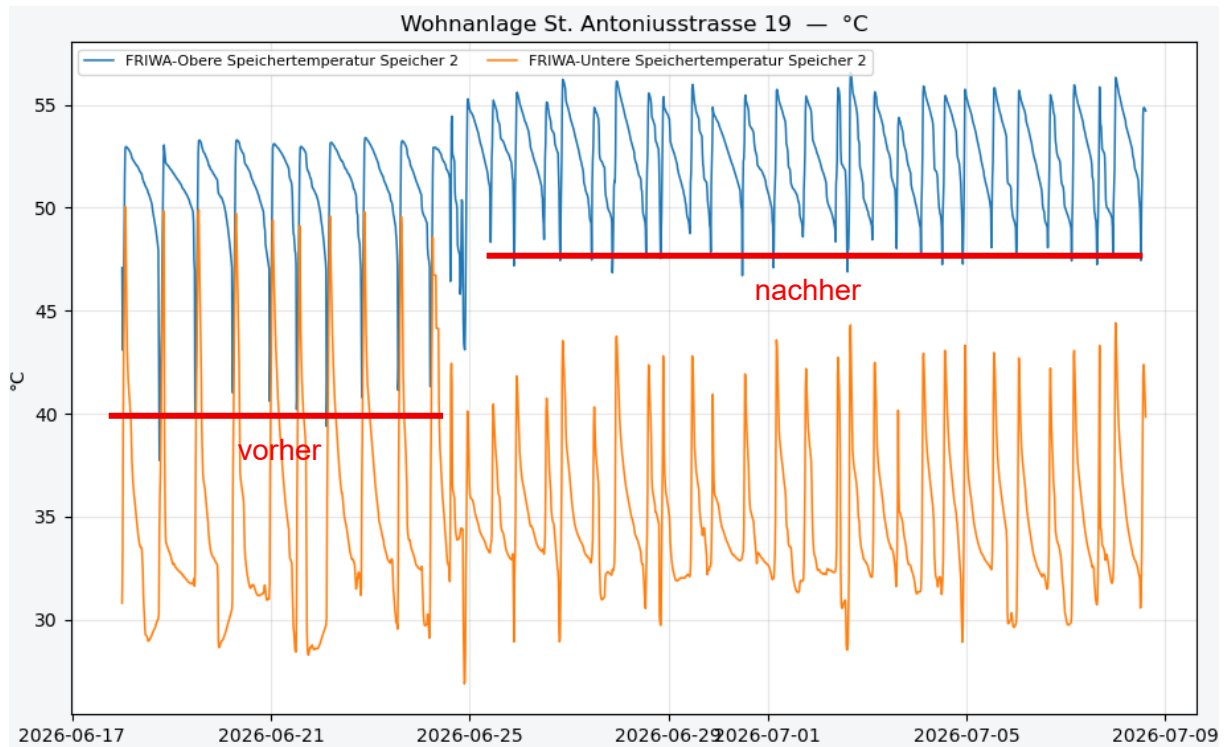


Abbildung 111: Auswirkung der Zieltemperaturbeladung des Warmwasserspeichers nach Umsetzung durch den MSR-Anbieter am 24.06.2026 auf die Speichertemperaturen oben und unten.

Die Abbildung zeigt, dass die obere Speichertemperatur (blau) nach der Umsetzung der Zieltemperaturbeladung nicht mehr auf Werte unter etwa 46-47 °C fällt. Vorher war dies beim Anlaufen der Wärmepumpe kurzzeitig der Fall und die obere Speichertemperatur sank auf Werte bis etwa 38 °C. Das Komfortproblem, das vorher in kurzen Zeiträumen auftreten konnte, wurde damit behoben.

Der Speicher wird nach der Umsetzung der Zieltemperatur nicht mehr wie vorher komplett durchgeladen, sondern nur noch zu etwa 70-80%. Dies wird dazu führen, dass die Anzahl der notwendigen Wärmepumpen-Starts geringfügig ansteigen wird.

4.3.4 Nachträgliche Dämmung der Fehlstellen der Rohrleitungsdämmung

Wie im großen Gebäude wies auch die Rohrleitungsdämmung im Keller anders als ausgeschrieben einige Fehlstellen aus. Diese wurden am 05.02.26 beseitigt. Die folgenden Fotos zeigen den Zustand vor und nach den Nachbesserungsarbeiten.



Abbildung 112: Leitungsdämmung Heizkeller kleines Gebäude mit Fehlstellen vor Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg



Abbildung 113: Leitungsdämmung Heizkeller kleines Gebäude nach Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg

4.3.5 Aufschalten der Heizstäbe in der MSR

Momentan sind die beiden Heizstäbe in den Speichern nicht, wie geplant, in die MSR eingebunden. Die MSR sollte die Heizstäbe im Notbetrieb bei Ausfall der Wärmepumpe aktivieren. Ohne die Einbindung in die MSR wurden die Heizstäbe in den ersten 2 Messjahren mehrmals unkontrolliert in Betrieb genommen, teils mit viel zu hohem Temperaturniveau von bis zu 80°C. Die Aufschaltung der Heizstäbe erfolgte Ende Juni 2026.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: spezifischer Endenergieverbrauch Haus 12a vor der Sanierung und in den ersten beiden Betriebsjahren nach der Sanierung nach Anwendungen in kWh/(m ² _{WNFA}).....	5
Abbildung 2: Endenergieverbrauch im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendung sowie PV-Ertrag; Haus 12a; Monatswerte	6
Abbildung 3: spezifischer Endenergieverbrauch _{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m ² _{WNFA}) (Ploss, 2022), (Ploss, 2024)	7
Abbildung 4: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen (Großklos, 2023), bereinigt um Neubauprojekte und ergänzt um das große Gebäude im Projekt (SüdSan groß) im ersten und zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung.	8
Abbildung 5: Haus 12a, Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer - kälteste Winterwoche im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	9
Abbildung 6: Haus 12a, Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer - wärmste (verfügbare) Sommerwoche im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte.....	10
Abbildung 7: Haus 12a, CO ₂ -Konzentration der Raumluft im Wohnzimmer - kälteste Winterwoche im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte.....	11
Abbildung 8: Haus 12a, Raumluftfeuchtigkeit im Wohnzimmer - zweites Betriebsjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	11
Abbildung 9: spezifischer Endenergieverbrauch Haus 19 vor Sanierung und im zweiten Jahr nach der Sanierung nach Anwendungen in kWh/(m ² _{WNFA})	12
Abbildung 10: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung in kWh; Haus 19; Monatswerte	13
Abbildung 11: spezifischer Endenergieverbrauch _{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m ² _{WNFA}); (Ploss, 2022), (Ploss, 2024)	14
Abbildung 12: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), bereinigt um Neubauprojekte und ergänzt um das Projekte SüdSan groß im ersten und zweiten Betriebsjahr sowie das Projekt SüdSan klein im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung	15
Abbildung 13: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, Juni 25 bis Mai 26, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)	16
Abbildung 14: Außenlufttemperatur zweites Messjahr, Tagesmittelwerte	19
Abbildung 15: Außenlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche des zweiten Messjahrs nach der Sanierung im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres; Stundenmittelwerte	20
Abbildung 16: Außenlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche des zweiten Messjahrs nach der Sanierung im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres sowie Temperaturen in der Rekord-Temperaturwoche zu Beginn des dritten Messjahrs nach der Sanierung; Stundenmittelwerte	21
Abbildung 17: Außenlufttemperaturen in der kältesten Woche des zweiten Messjahrs nach der Sanierung im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres; Stundenmittelwerte	22
Abbildung 18: Globalstrahlung zweite Messperiode nach der Sanierung, Tagesmittelwerte	23
Abbildung 19: Globalstrahlung wärmste Sommerwoche der zweiten Messperiode, Stunden-mittelwerte	24
Abbildung 20: Globalstrahlung kälteste Winterwoche der zweiten Messperiode, Halbstundenmittelwerte	24
Abbildung 21: aufsteigend sortierte, flächengewichtete Mittelwerte der Raumlufttemperatur in der Heizperiode 25/26 im Vergleich zu den Werten in der Heizperiode 24/25, Haus 12a	25
Abbildung 22: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern vor Sanierung, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)	27

Abbildung 23: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, zweites Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)	27
Abbildung 24: Haus 12a, Raumlufftemperaturen in den Wohnzimmern während der kältesten Winterwoche in der zweiten Heizperiode nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	28
Abbildung 25: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste (verfügbare) Sommerwoche im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	29
Abbildung 26: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen Rekord-Sommerwoche unmittelbar nach Ende des zweiten Messjahrs nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	30
Abbildung 27: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperatur kälteste Winterwoche vor Sanierung, Stundenmittelwerte	31
Abbildung 28: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperaturverlauf in der kältesten Winterwoche im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	31
Abbildung 29: Mittlere Raumlufftemperaturen, Solltemperaturen und Abweichungen der einzelnen Räume im Haus 12a dargestellt im Winter 2025-2026.	33
Abbildung 30: Mittlere Raumlufftemperaturen, Solltemperaturen und Abweichungen der einzelnen Wohnungen im Haus 12a dargestellt im Winter 2025-2026.....	34
Abbildung 31: Haus 12a: Messstellen temperaturkritische Räume	35
Abbildung 32: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Raumlufftemperaturen und Solltemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2026, Stundenmittelwerte (MSR Siemens)	36
Abbildung 33: Haus 12a, Wohnung Birke, Raumlufftemperaturen und Solltemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2026, Stundenmittelwerte (MSR Siemens)	37
Abbildung 34: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufftemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte	38
Abbildung 35: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufftemperatur, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Stundenmittelwerte	39
Abbildung 36: Haus 12a, Raumlufftemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche, Januar 2026, Halbstundenwerte	40
Abbildung 37: Haus 12a, Jahresverlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller	41
Abbildung 38: Haus 12a, Verlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller in einer kalten Winterwoche	42
Abbildung 39: Haus 12a, Verlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller in der heißen Sommerwoche 2025.....	42
Abbildung 40: Haus 12a, Verlauf der absoluten und rel. Luftfeuchte im Keller in der heißen Sommerwoche 2026.....	43
Abbildung 41: Haus 12a, CO ₂ -Konzentration in der Raumluff, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte	43
Abbildung 42: Haus 12a, CO ₂ -Konzentration in der Raumluff, Wohnzimmer, kälteste Winterwoche in der zweiten Messperiode, 1 Stunden-Mittelwerte	44
Abbildung 43: Haus 12a, CO ₂ -Konzentration in der Raumluff, Wohnzimmer, wärmste (verfügbare) Sommerwoche in der zweiten Messperiode, Stunden-Mittelwerten	45
Abbildung 44: Haus 12a, Kaltwasserverbrauch der beiden Messjahre in m ³ pro Monat	46
Abbildung 45: Haus 12a, Monatswerte des Endenergieverbrauchs vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; Techem Zähler Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom.....	49
Abbildung 46: Haus 12a: Messwerte des spezifischer Endenergieverbrauchs im ersten und zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendungen im Vergleich zu den Werten des unsanierten Gebäudes mit Infrarotheizung bei verschiedenen mittleren Raumlufftemperaturen in der Heizperiode	50
Abbildung 47: Endenergieverbrauch _{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und - Neubauten in kWh/(m ² _{WNFa}) (Ploss, 2024), (Ploss, 2022)	51

Abbildung 48: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR	52
Abbildung 49: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Januar 2026, 15-Minuten-Mittelwerte; Quelle: Siemens MSR.....	53
Abbildung 50: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR.....	53
Abbildung 51: Endenergieverbrauch _{Heiz+WW} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m ² _{WNFA}); (Ploss, 2024), (Ploss, 2022)	55
Abbildung 52: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Heizstäbe, Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR	56
Abbildung 53: Haus 12a, el. Leistung Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR.....	56
Abbildung 54: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Jahres-Haushaltsstroms der Wohnungen in kWh/(m ² _{WNFA}); Haus 12a, 01. Juni 2025 bis 31. Mai 2026	57
Abbildung 55: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden- Raumlufthtemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), ergänzt um Projekt SüdSan groß	60
Abbildung 56: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2004 bis Mai 2025 in kWh/(m ² _{WNFA}); aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem.....	61
Abbildung 57: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2025 bis Mai 2026 mit räumlicher Zuordnung; aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem	62
Abbildung 58: Haus 12a, Heizwärmeverbrauch Juni 2025 bis Mai 2026, Monatswerte in kWh; Quelle: Zähler Techem	63
Abbildung 59: Haus 12a, Leistungen modulierende Luft-Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: MSR Siemens; violett: Wärmeabgabe Wärmepumpe; dunkelblau: el. Leistung Wärmepumpe; hellblau: el. Leistung Heizstäbe	64
Abbildung 60: Temperaturverläufe des Heizungskreises in Haus 12a	65
Abbildung 61: Haus 12a Temperaturverläufe des Heizungskreises in der kalten Winterwoche 2026 .	66
Abbildung 62: Haus 12a, Wärmeverteilung – Verluste im zweiten Messjahr nach der Sanierung	68
Abbildung 63: Haus 12a, Lade,- Speicher- und Verteilverluste im zweiten Messjahr nach der Sanierung	69
Abbildung 64: Haus 12a, Leistungen, Temperaturen und Durchflüsse der Warmwasserbereitung in der zapffreien Zeit; Quelle: SüdSan Warmwasser MJ2_15m	70
Abbildung 65: Haus 12a, PV-Stromerzeugung im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Monatswerte; Quelle: online-Portal Wechselrichterhersteller	73
Abbildung 66: Jährliche Stromerzeugung der einzelnen Solarmodule; Haus 12a	74
Abbildung 67: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung in kWh; Haus 12a; Monatswerte	75
Abbildung 68: Foto der Frischwasserstation im eingebauten Zustand, ohne Geräteabdeckung	77
Abbildung 69: Rücklauftemperaturen der Frischwasserstationen (Mischtemperatur aller Stationen, Stundenmittelwert) im Verlauf vom 1.2.2025 bis 31.5.2026 mit den drei Optimierungsetappen.	78
Abbildung 70: Speichertemperaturen oben (Stundenmittelwert) im Verlauf vom 1.3.2026 bis 31.5.2026 mit der Optimierung am 13.5.2026.	79
Abbildung 71 Ausschnitt Haustechnikschema Teil Wärmepumpe und Wärmespeicher (Warmwasser). Rot hervorgehoben das Mischventil Wärmepumpe-Speicher.	80
Abbildung 72: Speichertemperaturverlauf, Speicher für Frischwasserstationen am 29.5.2026. Dargestellt sind 24 Std. in 15 Minuten-Schritten.	81
Abbildung 73: Vorlauf- und Rücklauftemperatur der Wärmepumpe sowie Temperaturanforderung an die Wärmepumpe am 29.5.2026. Dargestellt sind 24 Std. in 15 Minuten-Zeitschritten.	81
Abbildung 74: Auswirkung der Zieltemperaturbeladung des Warmwasserspeichers nach Umsetzung durch den MSR-Anbieter am 2.7.2026 auf die Speichertemperaturen oben und unten.	82

Abbildung 75: Vorlauftemperatur zu den Frischwasserstationen (violett) und Speichertemperaturen nach Umsetzung der Zieltemperaturbelastung.	83
Abbildung 76: Verrohrung im Heizungskeller mit Fehlstellen der Leitungsdämmung, Haus 12a; Foto: Planungsteam E-Plus	84
Abbildung 77: Verrohrung Heizungsanlage im Heizungskeller, Haus 12a; Foto: Planungsteam E-Plus	84
Abbildung 78: Fehlstellen in der Leitungsdämmung, Haus 12a; Fotos: Planungsteam E-Plus	85
Abbildung 79: Leitungsdämmung großes Gebäude nach Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg	85
Abbildung 80: Leitungsdämmung großes Gebäude nach Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg	86
Abbildung 81: Aufsteigend sortierte, flächengewichtete Mittelwerte der Raumlufttemperatur in der Heizperiode 25/26 im Vergleich zu den Werten in der Heizperiode 24/25 , Haus 19	88
Abbildung 82: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte; Messwerte und Bereiche operativer Raumlufttemperaturen (Deutsches Institut für Normung, 1994).....	89
Abbildung 83: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, Juni 2025 bis Mai 2026, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)	90
Abbildung 84: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche vor Sanierung, Halbstundenmittelwerte	91
Abbildung 85: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche in der zweiten Heizperiode nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	92
Abbildung 86: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste Sommerwoche im zweiten Messjahr nach der Sanierung, Stundenmittelwerte	93
Abbildung 87: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen Rekord-Sommerwoche unmittelbar nach Ende des zweiten Messjahrs nach der Sanierung, Stundenmittelwerte.....	94
Abbildung 88: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte	95
Abbildung 89: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Stundenmittelwerte	96
Abbildung 90: Haus 19, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche Jan 2026, Halbstundenmittelwerte	96
Abbildung 91: Haus 19, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, wärmste Sommerwoche Aug 2025, Stundenmittelwerte	97
Abbildung 92: Haus 19, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, Jahresverlauf Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte	98
Abbildung 93: Haus 19, CO ₂ -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte	98
Abbildung 94: Monatswerte des Endenergieverbrauchs vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen in kWh; Quellen: Siemens-MSR und VKW-Zähler für Haustechnik, VKW-Zähler Allgemeinstrom, AEE-Zähler Haushaltsstrom Quelle:	101
Abbildung 95: spezifischer Endenergieverbrauch Haus 19 vor Sanierung und im zweiten Jahr nach der Sanierung nach Anwendungen;	103
Abbildung 96: spezifischer Endenergieverbrauchgesamt hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und -Neubauten in kWh/(m ² _{WNFA}) (Ploss, 2022), (Ploss, 2024)	104
Abbildung 97: Haus 19, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte	105
Abbildung 98: Haus 19, el. Leistung Wärmepumpe, Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR	105
Abbildung 99: Haus 19, el. Leistung Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2025 bis Mai 2026, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR.....	106

Abbildung 100: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Haushaltsstromverbrauchs der Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung; Haus 19	107
Abbildung 101: Haus 19, Heizwärmeverbrauch Juni 2025 bis Mai 2026, Monatswerte; Quelle: MSR Siemens.....	108
Abbildung 102: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), bereinigt um Neubauprojekte und ergänzt um das Projekt SüdSan groß im ersten und zweiten Betriebsjahr sowie das Projekt SüdSan klein im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung	109
Abbildung 103: Haus 19, Leistungen modulierende Erd-Wärmepumpe, Juni 2025 bis Mai 2026, Monatspasis; Quelle: MSR Siemens; grün: el. Leistung Wärmepumpe; blau: Wärmeabgabe Wärmepumpe; hellblau: Arbeitszahl.....	110
Abbildung 104: Haus 19 Temperaturverläufe im Heizungsspeicher und im Speicher der Warmwasserbereitung.....	111
Abbildung 105: Haus 19 Temperaturverläufe Warmwasserbereitung	112
Abbildung 106: Haus 12a, Wärmeverteilung – Verluste im zweiten Messjahr nach der Sanierung ...	113
Abbildung 107: Haus 19, PV-Stromerzeugung im ersten und zweiten Messjahr nach der Sanierung, Monatswerte; Quelle: online-Plattform Wechselrichterhersteller	114
Abbildung 108: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag im zweiten Messjahr nach der Sanierung; Haus 19; Monatswerte	115
Abbildung 109: Rücklauftemperaturen der Frischwasserstationen (Mischtemperatur aller Stationen, Stundenmittelwert) im Haus 19 im Verlauf vom 13.4.2026 bis 3.5.2026 nach der letzten Optimierungsetappe.	116
Abbildung 110: Haus 19, Speichertemperaturen Oben (Stundenmittelwert) im Verlauf vom 1.3.2026 bis 31.5.2026 mit der Optimierung am 13.5.2026.	117
Abbildung 111: Auswirkung der Zieltemperaturbeladung des Warmwasserspeichers nach Umsetzung durch den MSR-Anbieter am 24.06.2026 auf die Speichertemperaturen oben und unten.	118
Abbildung 112: Leitungsdämmung Heizkeller kleines Gebäude mit Fehlstellen vor Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg.....	119
Abbildung 113: Leitungsdämmung Heizkeller kleines Gebäude nach Nachbesserungsarbeiten; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Monatswerte der gemessenen Außenlufttemperatur im ersten und zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung mit den Werten nach Meteonorm v8.04 (Meteonorm Software, 2025; Meteonorm Software, 2025)	19
Tabelle 2: Vergleich der Monatsmittelwerte der Globalstrahlung im ersten und zweiten Messjahr nach der Sanierung im Vergleich mit den Werten nach Meteonorm 8.0.4 (Meteonorm Software, 2025)	23
Tabelle 3: Haus 12a, Kaltwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung	45
Tabelle 4: Haus 12a, Warmwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung	46
Tabelle 5: spez. Warmwasser-Bedarf (60°C) gemäß unterschiedlicher Quellen (Hasper, 2015)	47
Tabelle 6: Haus 12a, Endenergieverbrauch Haus 12a vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; VKW Zähler Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom	48
Tabelle 7: spezifischer Endenergieverbrauch erstes und zweites Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendungen in kWh/(m ² _{WNFA}) – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung, Haus 12a.....	49
Tabelle 8: Haus 12a – Monatswerte des spezifischen Heizwärmeverbrauchs der Wohnungen, Juni 2025 bis Mai 2026; Quelle: Zähler Techem, Abruf über thingsboard	58
Tabelle 9: Warmwasserverbrauch an Zapfstellen und Wärmeströme Warmwasser ab Speicher bis Übergabestation – zweites Messjahr vor Einstellung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026	58
Tabelle 10: Warmwasserverbrauch an Zapfstellen und Wärmeströme Warmwasser ab Speicher bis Übergabestation – zweites Messjahr nach Einstellung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026	59
Tabelle 11: Monats- und Jahresarbeitszahl der Wärmeerzeugung (Wärmepumpe + Heizstäbe)	64
Tabelle 12: Wärmebilanz der Wärmespeicher Haus 12a; 01.06.2025 bis 31.05.2026	67
Tabelle 13: Haus 12a, Wärmeströme im zweiten Messjahr nach der Sanierung	69
Tabelle 14: Warmwasserverbrauch an Zapfstellen und Wärmeströme Warmwasser ab Speicher bis Übergabestation – zweites Messjahr nach Einstellung der Zirkulationsbrücken am 20. April 2026	71
Tabelle 15: Angaben zur Höhe der Warmwasser-Verteilverluste	71
Tabelle 16: Kennzahlen und Ertrag der PV-Anlage im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung; Haus 12a	73
Tabelle 17: Haus 19, Kaltwasserverbrauch der Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung	99
Tabelle 18: Haus 19, Warmwasserverbrauch der Wohnungen im zweiten Messjahr nach der Sanierung	99
Tabelle 19: Endenergieverbrauch Haus 19 vom 01.06.2025 bis zum 31.05.2026 nach Anwendungen; Quellen: Siemens-Zähler, VKW-Zähler Allgemeinstrom, AEE-Zähler Haushaltsstrom	100
Tabelle 20: spezifischer Endenergieverbrauch zweites Betriebsjahr nach der Sanierung nach Anwendungen – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung, Haus 19.....	102
Tabelle 21: Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme) im zweiten Messjahr nach der Sanierung – Haus 19; Quelle: WMZ Techem	109
Tabelle 22: Monats- und Jahresarbeitszahl der Wärmeerzeugung (Wärmepumpe + Heizstäbe)	110
Tabelle 23: Wärmebilanz der Wärmespeicher Haus 19; 01.06.2025 bis 31.05.2026	112
Tabelle 24: Kenndaten und Jahresertrag der PV-Anlage im zweiten Messjahr nach der Sanierung; Haus 19	114

Literaturverzeichnis

- Bittermann, W. (2018). *Strom- und Gastagebücher 2008/2012/2016 - Projektbericht*. 2018: Statistik Austria.
- Deutsches Institut für Normung. (1994). *DIN 1946-2 - Raumluftechnik Gesundheitstechnische Anforderungen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Großklos, M. e. (2023). *PassivhausSozialPlus - Gesamtbericht*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.
- Hasper, W. (2015). *Warmwassernutzung: Messergebnisse, Ansätze zur Mengenreduktion und Planungsansätze; in: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband 49 Energieeffiziente Warmwassersysteme*. Darmstadt: Passivhausinstitut.
- Hatt, T. (2022). Modellvorhaben "KliNaWo" in Feldkirch. In M. Ploss, *Low-Cost nZEB - Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.
- Hatt, T. (2022). Wohnbauforschungsprojekt Dafins. In M. Ploss, *Low-Cost nZEB - Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.
- Jähnig, D. (2025). *PhaseOut - Deliverable 2.1: Bericht zu den untersuchten prototypischen Sanierungskonzepten*. Gleisdorf: AEE Intec.
- MA 20. (2016). *Warm!wasser effizient bereit stellen - Technologieleitfaden Warmwasser*. Wien: Stadt Wien - MA 20.
- Meteonorm Software. (2025). Von <https://mn8.meteonorm.com/> abgerufen
- Neunteufel, R. e. (2024). *Wasserverbrauch in österreichischen Haushalten*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft.
- o.A. (2023). *Gebäude- und Wohnungszählung - Wohnungen - Zeitreihe ab 2011; Region (Ebene +2) und Bauperiode des Gebäudes (Ebene +2) nach Wohnung, Jahr und Anzahl der Wohnungen in Gebäuden (in Klassen (Ebene +1))*. Wien: Statistik Austria.
- Ochs, F. (2022). NZEB-Gebäude Vögelebichl in Innsbruck. In M. Ploss, *Low-Cost nZEB - Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.
- Ochs, F. (2025). *Monitoring Innsbruck Campagne - PH-Siedlung mit Fernwärme und Wärmepumpe*. Innsbruck: Universität Innsbruck.
- Passipedia. (15. 10 2025). *Passipedia - die Wissensdatenbank*. Von Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit: https://passipedia.de/grundlagen/bauphysikalische_grundlagen/thermische_behaglichkeit/einflussgroessen_auf_die_thermische_behaglichkeit abgerufen
- Peper, S. (2011). *Monitoring Altbausanierung zum Passivhaus - Verbrauch, Raumlufqualität, Kellerfeuchte*. Darmstadt: PASSIVHAUS INSTITUT Dr. Wolfgang Feist.
- Ploss, M. (2022). *Low cost nZEB - Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.
- Ploss, M. (2024). Gebäudesanierung und Klimaschutz - wie erreichen wir die Pariser Ziele? In M. Ploss, *economicum Themenband Session 13: Herausforderung Altbau*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.
- Ploss, M. (2025). *SüdSan - Themendokumentation: Zwischenstand März 2025*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.
- Sigg, F. (2022). Aktiv Stadthaus Speicherstraße in Frankfurt. In M. Ploss, *Low-Cost nZEB - Paris-kompatible Mehrfamilienhäuser*. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg.
- Wagner, W. (2025). *SüdSan Themendokumentation: Monitoring der Gebäude nach der Sanierung*. Dornbirn / Gleisdorf: Energieinstitut Vorarlberg AEE Intec.
- Wörl, F. e. (2024). *SüdSan - Themendokumentation: Monitoring der Gebäude vor Sanierung*. Gleisdorf / Dornbirn: AEE INTEC / Energieinstitut Vorarlberg .

Abkürzungsverzeichnis

WNF	Wohnnutzfläche [m ²]
EBF	Energiebezugsfläche gemäß PHPP
BGF	Bruttogeschossfläche [m ²]
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket
WMZ	Wärmemengenzähler