

SüdSan

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

Themendokumentation

**Monitoring der Mustergebäude
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 nach der Sanierung

Bludenz, St. Antoniusstraße 12a und 19

Waldemar Wagner (AEE INTEC)

Florian Wörl (AEE INTEC)

Martin Ploss (Energieinstitut Vorarlberg)

Tobias Hatt (Energieinstitut Vorarlberg)

Stephen Kalthieber (Planungsteam E-Plus)

Gleisdorf, Dornbirn, Dezember 2025

AEE - Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)

8200 Gleisdorf, Feldgasse 19, Austria

Herausgeber:

Energieinstitut Vorarlberg, Fachbereich Energieeffizientes Bauen

CAMPUS V, Stadtstraße 33

6850 Dornbirn, Österreich

Tel. +43 (0)5572 / 31 202-0

info@energieinstitut.at

Zusammenfassung

Im Projekt *SüdSan* wurden zwei für die Südtirolersiedlung Bludenz repräsentative Mehrfamilienhäuser energetisch und ökologisch hochwertig saniert. Die Realisierungsvarianten beider Gebäude wurden aus zahlreichen Varianten mit unterschiedlichen Hüllqualitäten, Lüftungs-, Wärmeversorgungs- und Solarkonzepten ausgewählt. Die Varianten wurden detailliert geplant, modular ausgeschrieben und im Hinblick auf Ihren Energiebedarf und ihre CO₂-Emissionen im Betrieb und im gesamten Lebenszyklus sowie die Errichtungs- und Lebenszykluskosten bewertet. Projektziele, Inhalte und Methodik sowie die Planungs- und Realisierungsphase der Gebäude und die Kostenauswertungen sind im Zwischenbericht dargestellt (Ploss, 2025). Der Energieverbrauch der Gebäude im ersten Betriebsjahr nach Sanierung, die Effizienz der wichtigsten Haustechnikkomponenten sowie die Behaglichkeitsparameter Raumlufttemperatur, relative Feuchte und CO₂-Gehalt der Raumluft wurden messtechnisch erfasst. Monitoring-konzept und -ergebnisse werden in diesem Bericht dargestellt.

Monitoringergebnisse großes Gebäude

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

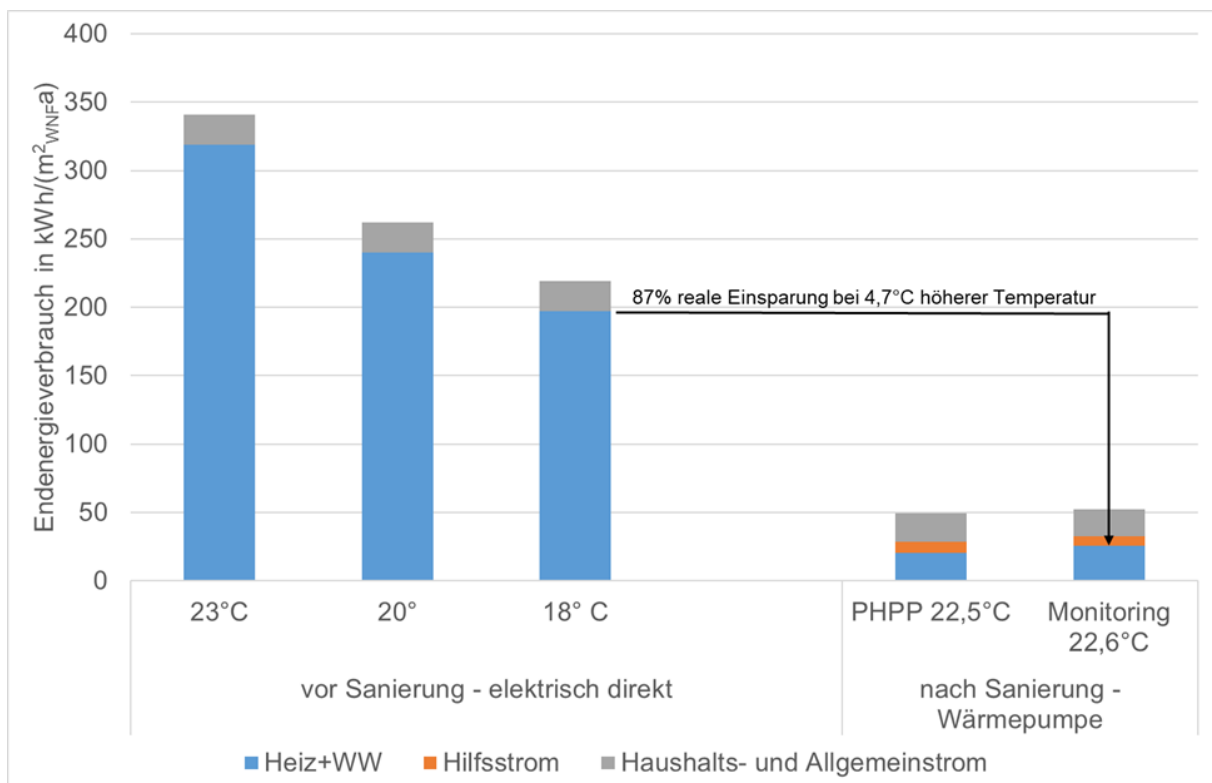


Abbildung 1: Endenergieverbrauch Haus 12a vor und nach Sanierung nach Anwendungen

Wie die Abbildung verdeutlicht, liegt der im ersten Betriebsjahr gemessene Endenergieverbrauch_{Heizung+WW} um 87% unter dem Wert, den das unsanierte Gebäude bei der vor Sanierung gemessenen Heizperioden-Mitteltemperatur von 17,9°C und direktelektrischer Beheizung gehabt hätte. Die Einsparung wird erzielt, obwohl die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode nach Sanierung mit 22,6°C um 4,7°C höher lag als vor der Sanierung. Die mittlere Außenlufttemperatur in der Heizperiode entsprach in etwa dem langjährigen Mittel.

Der Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen liegt mit 52,5 kWh/(m²_{WNFA}) um 76% unter dem Wert von 219 kWh/(m²_{WNFA}) vor Sanierung¹.

Die gemessenen Energieverbräuche stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen überein.

Abbildung 2 zeigt die Monatswerte des Energieverbrauchs nach Anwendung sowie des PV-Ertrags.

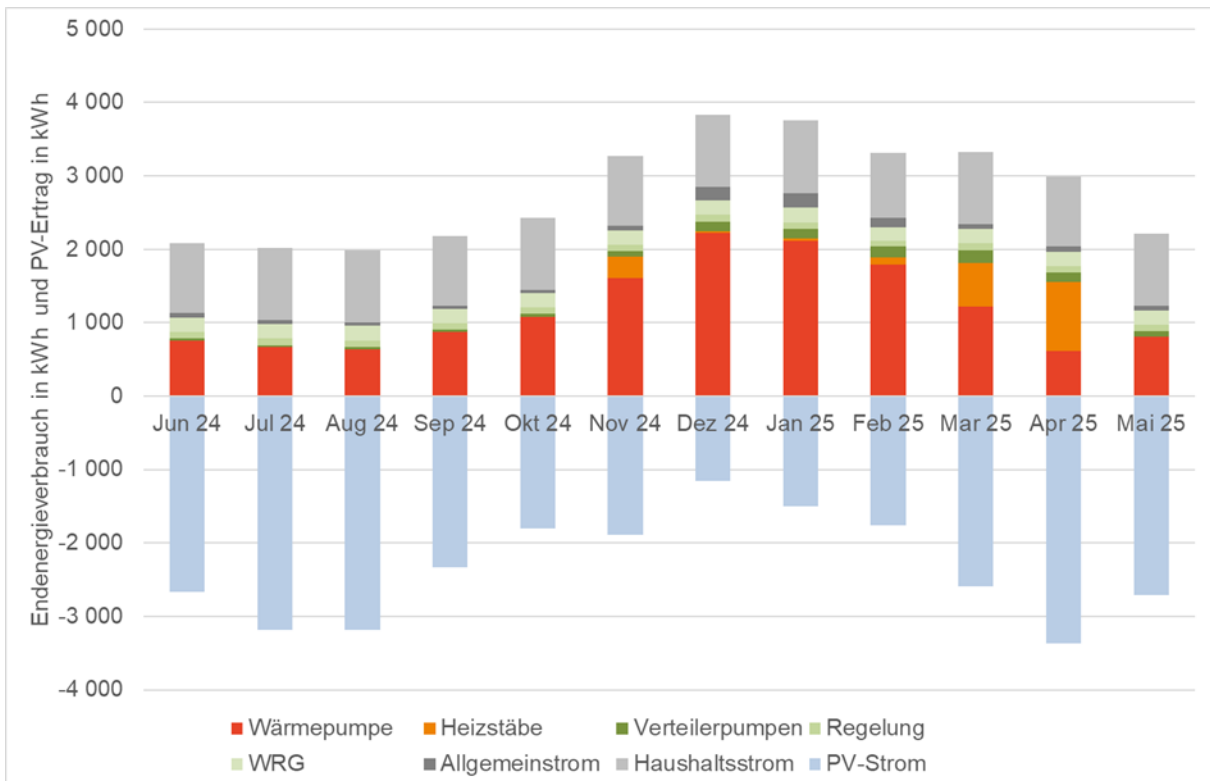


Abbildung 2: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag; Haus 12a; Monatswerte

¹ 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 Endenergieverbrauch für Wärme (Wärmepumpe + Heizstab) beträgt $25,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, gesamte Endenergieverbrauch der Haustechnik $32,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Das Gebäude ist damit eines der effizientesten sanierten Mehrfamilienhäuser in Österreich. Der flächenspezifische PV-Jahresertrag liegt mit $44,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ deutlich über dem gesamten Haustechnikstromverbrauch.

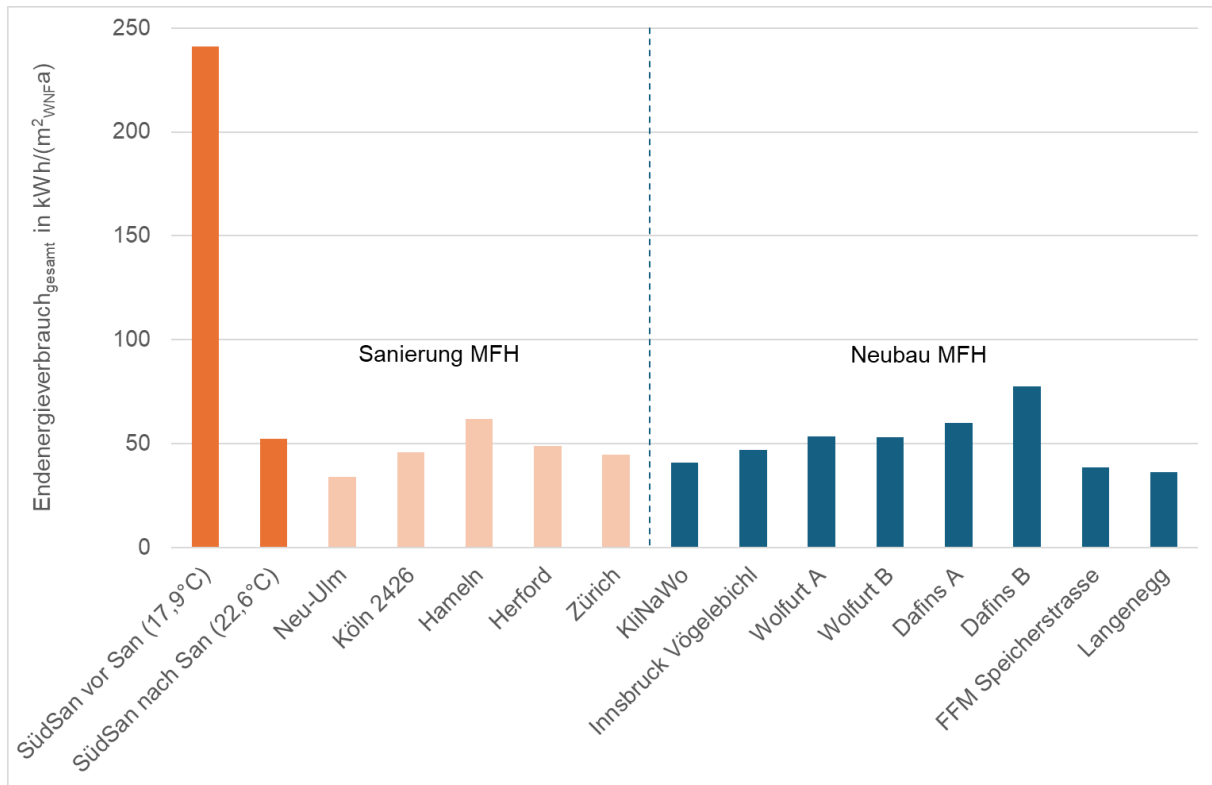


Abbildung 3: Endenergieverbrauch_{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}) (Ploss M. , 2022), (Ploss, 2024)

Der spezifische Endenergieverbrauch des großen SüdSan-Gebäudes in Summe aller Anwendungen, d.h. inkl. Haushalts- und Allgmeinstrom, liegt bei $52,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Dieser Wert liegt im Bereich der Werte der besten Mehrfamilienhaus-Sanierungen im deutschsprachigen Raum, die bei etwa 46 bis $62 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ liegen. Der Verbrauch des Projekts in Neu-Ulm liegt mit ca. $34 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ nochmals niedriger, u.a., da alle Wohnungen nach Sanierung mit marktbesten Haushaltsgeräten ausgestattet wurden.

Die Verbräuche der besten Sanierungen liegen nur unwesentlich über jenen der effizientesten Mehrfamilienhaus-Neubauten, die mit einer Ausnahme bei 36 bis $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ liegen.

Grundlage die sehr niedrigen Energieverbräuche des großen SüdSan-Gebäudes ist eine hochwertige Gebäudehülle: der Messwert der Luftdichtheit n_{50} erfüllt mit $0,6 \text{ h}^{-1}$ die

Anforderung an Passivhaus-Neubauten, der Heizwärmeverbrauch liegt trotz einer mittleren Raumlufttemperatur von 22,6°C in der Heizperiode bei 19,8 kWh/(m²_{WNFA}).

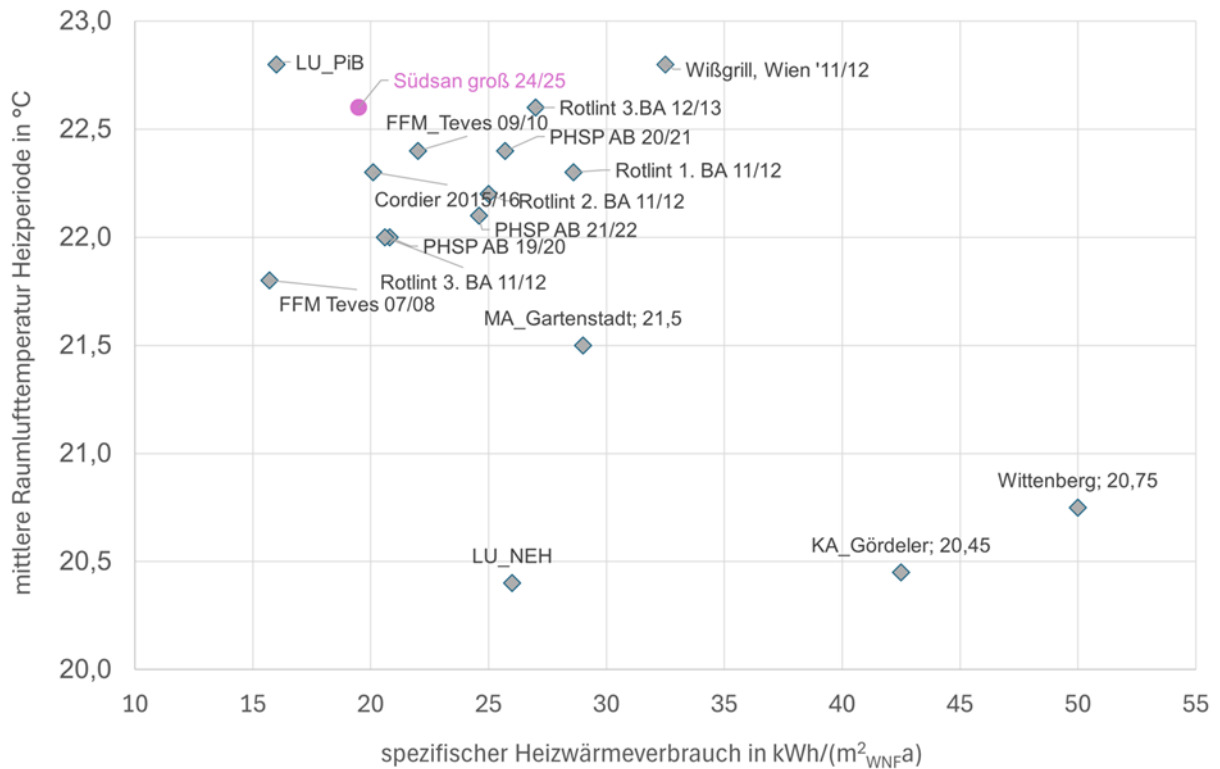


Abbildung 4: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), bereinigt um Neubauprojekte und ergänzt um das Projekt SüdSan groß

Das große Gebäude des SüdSan-Projekts erreicht mit 19,8 kWh/(m²_{WNFA}) einen der niedrigsten Werte des Heizwärmeverbrauchs in Mehrfamilienhaus-Sanierungen im deutschsprachigen Raum.

Während ¾ der Mieter vor der Sanierung die Raumlufttemperaturen im Winter als zu kalt empfanden, liegen die Temperaturen nach Sanierung auch in Kältephasen im angenehmen Bereich. Abbildung 5 zeigt dies am Beispiel des Temperaturverlaufs in der kältesten Winterwoche des ersten Betriebsjahres nach Sanierung.

H12a - Temperatur in °C - Wohnzimmer

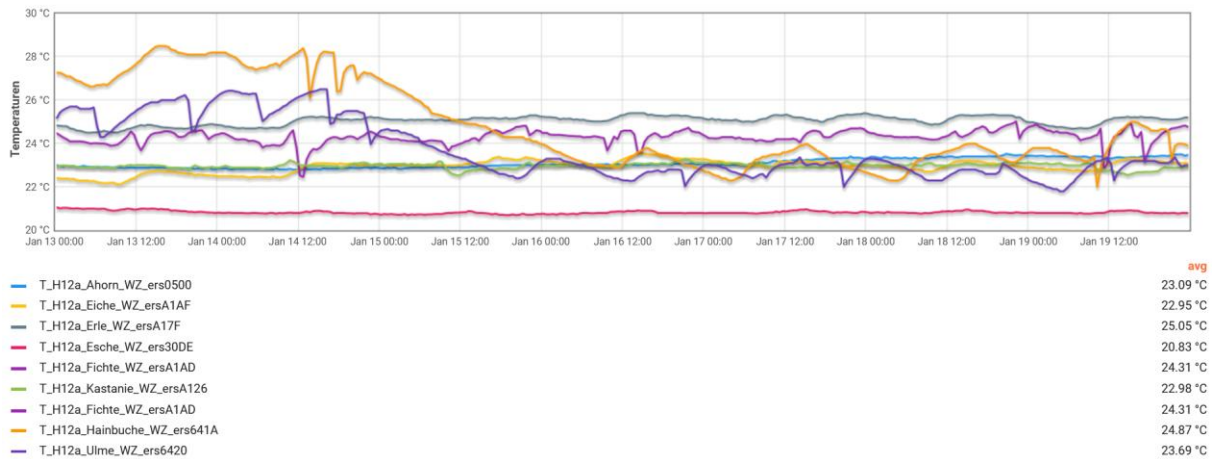


Abbildung 5: Haus 12a, Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer - kälteste Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte

In der kältesten Winterwoche mit Außenlufttemperaturen bis $-7,5^{\circ}\text{C}$ liegen die mittleren Raumlufttemperaturen von 10 der 11 Wohnungen über dem in der Regelung hinterlegten Sollwert von 21°C . Lediglich der Wert der Wohnung Esche liegt mit $20,83^{\circ}$ knapp niedriger. Die im Projekt erstmals eingesetzte Wandheizung auf der Außenseite der Bestands-Außenwand gewährleistet auch in den kritischsten Räumen angenehme Raumlufttemperaturen. Die Temperaturverläufe in den Wohnungen stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der dynamischen Gebäudesimulationen überein.

Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Raumlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche des Messzeitraums.

H12a - Temperatur in °C - Wohnzimmer

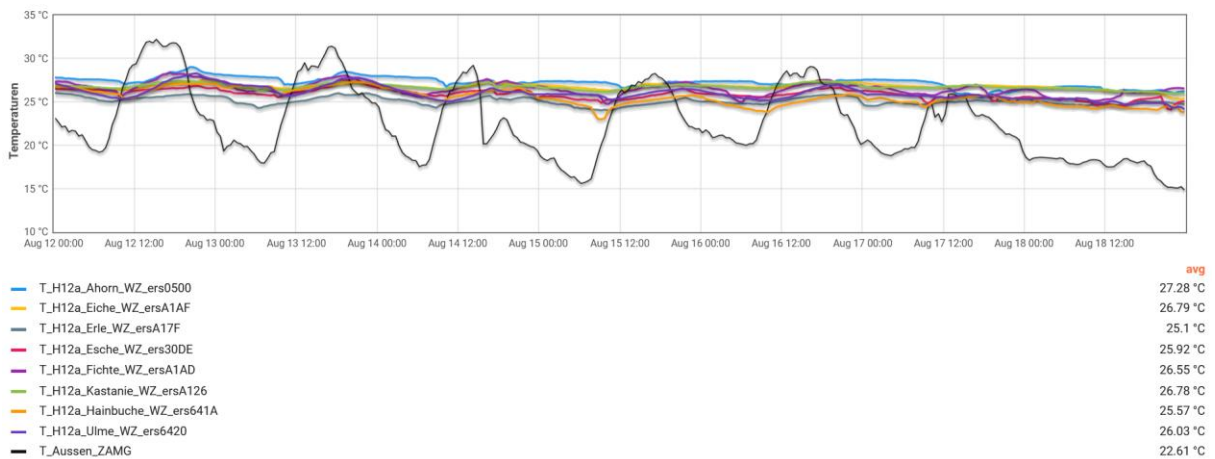


Abbildung 6: Haus 12a, Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer - wärmste Sommerwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte

In der wärmsten Sommerwoche mit Stundenmittelwerten der Außenlufttemperatur bis über 32°C lagen die mittleren Raumlufftemperaturen in den Wohnzimmern zwischen 25,1 und 27,3°C. Extreme Ausreißer oder Überhitzungsspitzen sind nicht erkennbar. Die geringen Tagesamplituden der Raumlufftemperaturen von meist unter 2 K sprechen dafür, dass das Potential der Nachtlüftung nicht vollständig ausgenutzt wird.

Das Monitoring zeigt eine hervorragende Qualität der Raumluff: Der CO₂-Gehalt liegt in allen Wohnungen zwischen etwa 450 und 700 ppm. In einer Wohnung werden kurzzeitige Spitzen von bis zu 800 ppm erreicht, in einer weiteren einmalig etwa 1.000 ppm.

Die relative Feuchte liegt meist im Bereich von 35 % bis 55 %, Werte über 70% treten sehr selten auf. Allerdings liegt die relative Feuchte nach Sanierung häufiger unter 30%. Dies ist auf die vergleichsweise hohen Raumlufftemperaturen im Winter und auf den kontinuierlichen Luftwechsel über die Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und ohne Enthalpietauscher zurückzuführen. In der zweiten Heizperiode wird der Luftvolumenstrom leicht reduziert werden, so dass die CO₂-Konzentrationen noch immer in einem sehr guten Bereich liegen und relative Feuchten von unter 30% seltener auftreten werden.

Monitoringergebnisse kleines Gebäude

Aufgrund eines mehr als dreimonatigen Ausfalls der Messdatenerfassung über die MSR während der Heizperiode ist die Datenlage für das kleine Gebäude deutlich schlechter als für das große. Auch die Optimierung im Betrieb wurde durch diesen Ausfall erheblich erschwert und verzögert.

Die Ergebnisse der Behaglichkeitsmessungen, die nicht vom Datenausfall betroffen waren, sowie die wichtigsten Ergebnisse zum Energieverbrauch sind nachfolgend dargestellt.

Detailanalysen folgen im Monitoringbericht für das zweite Betriebsjahr.

Abbildung 7 zeigt den spezifischen, auf die Wohnnutzfläche bezogenen Endenergieverbrauch des kleinen Gebäudes (Haus 19) vor und nach Sanierung. Die Werte für das erste Betriebsjahr nach Sanierung sind aufgrund des Datenausfalls der MSR aus verschiedenen Datenquellen rekonstruiert.

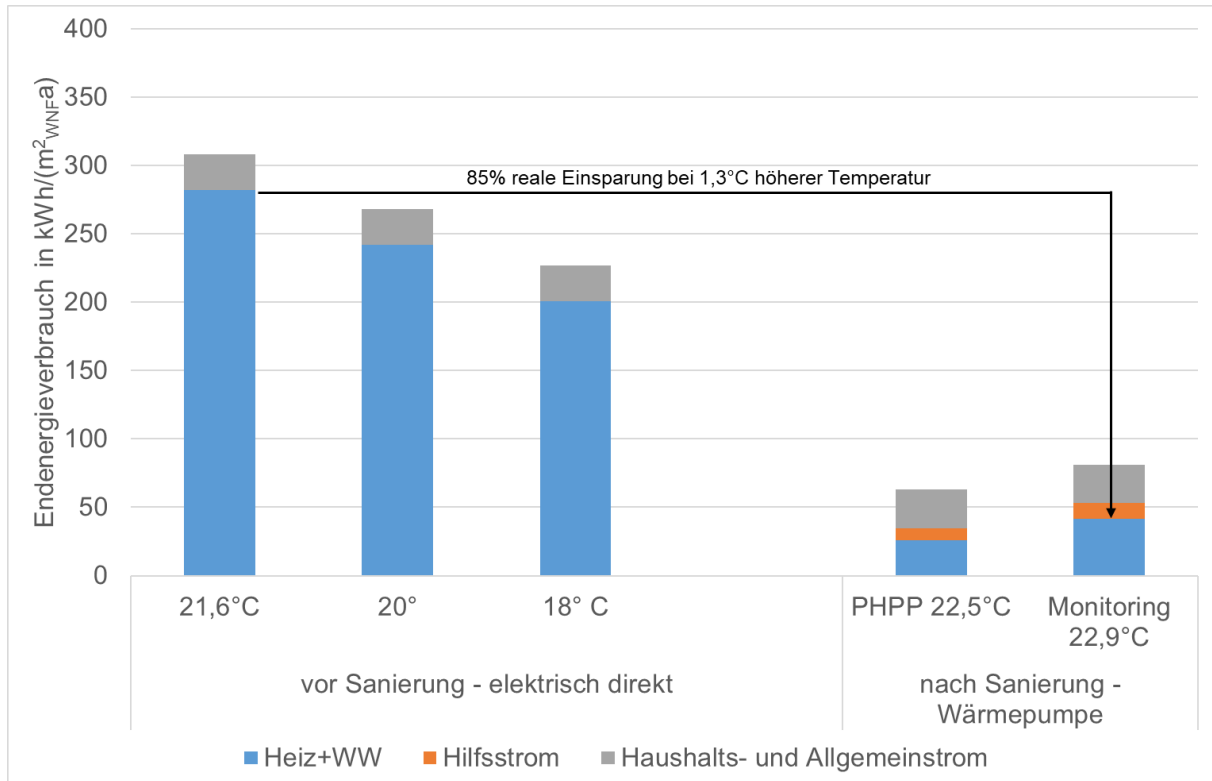


Abbildung 7: Endenergieverbrauch Haus 19 vor und nach Sanierung nach Anwendungen

Der im ersten Betriebsjahr gemessene Endenergieverbrauch_{Heizung+WW} des kleinen Gebäudes liegt mit 41,3 kWh/(m²_{WNFA}) um 85% unter dem Wert des unsanierten Gebäudes bei der vor Sanierung gemessenen Heizperioden-Mitteltemperatur von 21,6°C und direktelektrischer Beheizung. Die Einsparung wird erzielt, obwohl die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode nach Sanierung mit 22,9°C um 1,3°C höher liegt als vor der Sanierung. Die mittlere Außenlufttemperatur in der Heizperiode entsprach in etwa dem langjährigen Mittel.

Der Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen liegt mit etwa 81 kWh/(m²_{WNFA}) um 74% unter dem Wert von 308 kWh/(m²_{WNFA}) vor Sanierung².

Der gemessene Endenergieverbrauch_{Heizung+WW} liegt merklich über dem Ergebnis der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung. Aufgrund des langfristigen Ausfalls der MSR in der Heizperiode konnten die Gründe für den höheren Verbrauch noch nicht abschließend ermittelt werden. Hinweise auf Schwächen im Betrieb des Wärmeversorgungssystems im ersten Betriebsjahr finden sich in der folgenden Abbildung, in der die Jahreswerte des Stromverbrauchs der

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.

Wärmepumpe und der Heizstäbe sowie die wichtigsten Wärmeströme im Gebäude dargestellt werden.

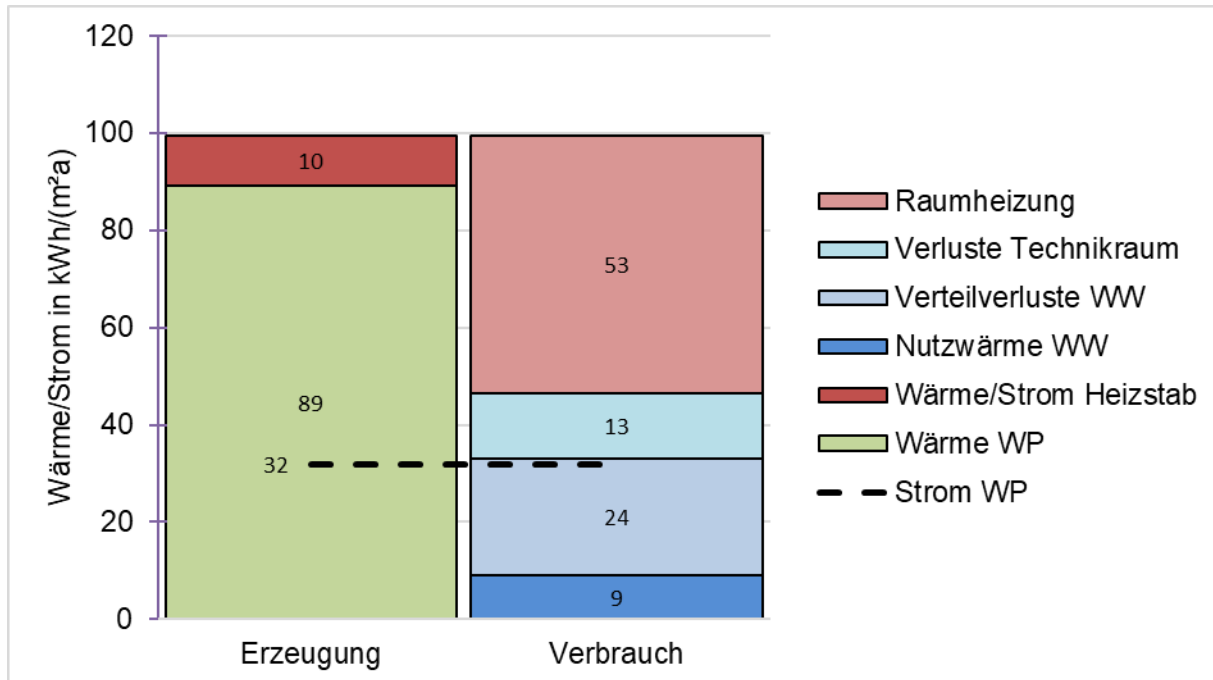


Abbildung 8: Wärmeströme/Stromverbräuche erstes Betriebsjahr in kWh/(m²_{WNFA}), kleines Gebäude

Der Heizwärmeverbrauch liegt bei 53 kWh/(m²_{WNFA}) und damit geringfügig höher als in der Verbrauchsprognoseberechnung mit 51,9 kWh/(m²_{WNFA}). Die mittlere Raumlufthtemperatur liegt mit 22,9°C etwas höher als die Annahme von 22,5°C in der Verbrauchsprognoseberechnung. Zusätzlich wird etwa 1/3 der Warmwasser-Verteilverluste in Höhe von 24 kWh/(m²_{WNFA}) als nicht regelbarer Beitrag zur Raumheizung genutzt. Der gesamte Wärmeinput zur Raumheizung liegt damit in einer ähnlichen Größenordnung wie die Verbrauchsprognoseberechnung. Ein Grund für die gute Übereinstimmung ist die sehr gute Ausführungsqualität der Gebäudehülle, die durch den hervorragenden n₅₀-Wert von 0,78 h⁻¹ im Luftdichtheitstest bestätigt wurde.

Der Nutzwärmeverbrauch des Gebäudes für Warmwasser ist – besonders angesichts der hohen Belegungsdichte - mit 9 kWh/(m²_{WNFA}) niedrig. Die Verteilverluste im Technikraum sind etwas niedriger als im großen Gebäude. Der Wärmeoutput in Summe von Wärmepumpe und Heizstäben liegt bei knapp 100 kWh/(m²_{WNFA}).

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe liegt bei knapp 32 kWh/(m²_{WNFA}). Zusätzlich trägt der Heizstab ca. 10 kWh/(m²_{WNFA}) zur Wärmebereitstellung bei. Der Endenergieverbrauch_{Heiz+WW} beträgt damit etwa 42 kWh/(m²_{WNFA}). Dieser Wert liegt um 16 kWh/(m²_{WNFA}) höher als der Wert der PHPP-Verbrauchsprognose. Ein Grund für den Mehrverbrauch im Vergleich zur Verbrauchsprognose liegt darin, dass die Heizstäbe während der Heizperiode betrieben

wurden. Der Grund für den ungeplanten Betrieb der Heizstäbe konnte aufgrund des Datenausfalls nicht geklärt werden.

Während das Wärmeversorgungssystem noch einer Optimierung im Betrieb bedarf, liegt der spezifische Ertrag der PV-Anlage mit 1.203 kWh/kW_p über den Berechnungsergebnissen. Der flächenspezifische Jahresertrag liegt bei $55,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und damit höher als der gesamte Verbrauch der Haustechnik.

Die folgende Abbildung zeigt die Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern der 6 Wohnungen für den Zeitraum von September 2024 bis Mai 2025 als Stundenmittelwerte.

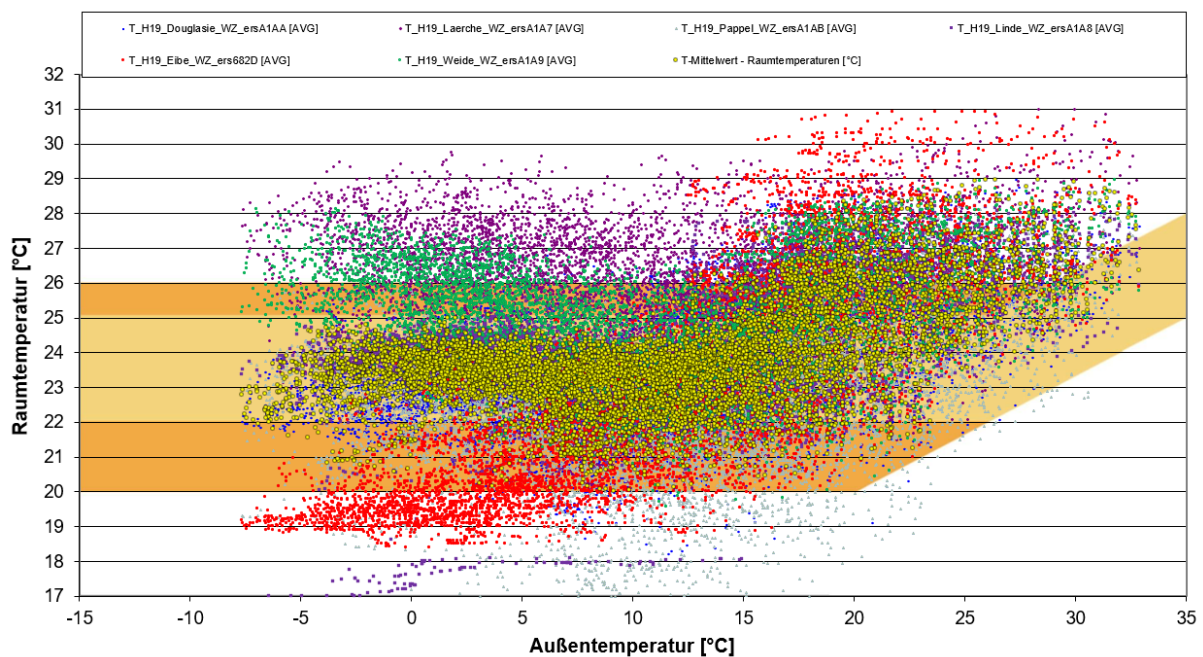


Abbildung 9: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 24 bis Mai 25, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Die Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern liegen überwiegend im behaglichen Bereich. In zwei Wohnungen treten während der Heizperiode relativ niedrige Werte zwischen 17 und 20°C auf, in zwei weiteren Wohnungen hohe Werte von über 26°C . Die Gründe für die wohnungsweise stark differierenden Raumlufttemperaturen im Winter können aufgrund des Ausfalls der MSR nicht analysiert werden, da keine Daten zur Funktion des Wärmeversorgungssystems verfügbar sind.

Die Raumluftqualität ist aufgrund des bedarfsgerecht ausgelegten Luftwechsels über die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung während der gesamten Heizperiode ausgezeichnet, die CO_2 -Konzentration liegt meist in einem Bereich von 500 bis 800 ppm . Die relative Feuchte in den Wohnzimmern liegt nach der Sanierung überwiegend im Bereich zwischen 25% und 65% . Niedrigere Werte treten v.A. bei sehr hohen Raumlufttemperaturen auf.

Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Projektziele und Inhalte	19
2 Gebäudebeschreibung	20
2.1 Energiekonzept großes Gebäude	22
2.1.1 Gebäudehülle	22
2.1.2 Energierrelevante Haustechnik	24
2.1.3 Energiekennwerte	26
2.2 Energiekonzept kleines Gebäude	29
2.2.1 Gebäudehülle	29
2.2.2 Energierrelevante Haustechnik	30
2.2.3 Energiekennwerte	33
3 Monitoring	34
3.1 Inhalt und Ziel	34
3.2 Konzept	35
3.2.1 MSR Siemens	36
3.2.2 Messeinrichtungen Techem	40
3.2.3 Behaglichkeits- und Luftqualitäts-Monitoring AEE	41
3.2.4 AEE Monitoring des Haushalts- und Allgemeinstromverbrauchs	43
3.2.5 Sonstige Datenquellen	44
3.3 Zähler und Sensoren	44
3.3.1 Behaglichkeits-Monitoring	44
3.3.2 CO ₂ -Messungen	46
3.4 Messzeitraum und Datenausfälle	47
4 Wetterdaten	48
4.1 Außenlufttemperatur und -feuchte	48
4.2 Solarstrahlung	50
5 Ergebnisse Haus 12a	53
5.1 Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität	53
5.1.1 Raumlufttemperatur	53

5.1.2	Raumlufffeuchte	64
5.1.3	Kohlendioxidgehalt der Luft in den Wohnzimmern	69
5.1.4	Kaltwasserverbrauch	71
5.1.5	Warmwasserverbrauch	71
5.2	Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme	72
5.2.1	Endenergieverbrauch gesamt	72
5.2.2	Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser	78
5.2.3	Endenergieverbrauch Hilfsstrom	82
5.2.4	Endenergieverbrauch Haushalt	83
5.2.5	Heizwärmeverbrauch Wohnungen	84
5.2.6	Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme)	89
5.2.7	Effizienz der Wärmeerzeugung	90
5.2.8	Lade-, Speicher- und Verteilverluste	96
5.2.9	PV-Stromerzeugung	105
5.3	Optimierung der Haustechniksysteme im Betrieb	109
5.3.1	Beschwerden der Bewohner	109
5.3.2	Hydraulischer Abgleich Frischwasserstationen	126
5.3.3	Änderungen von Regelungseinstellungen	131
5.3.4	Umbau Rücklauf der Frischwasser-Stationen	131
5.3.5	Reduktion des Luftvolumenstroms der Komfortlüftung mit WRG	142
6	Ergebnisse kleines Gebäude	143
6.1	Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumlufqualität	143
6.1.1	Raumlufttemperatur	143
6.1.2	Raumlufffeuchte	149
6.1.3	Kohlendioxidgehalt der Luft in den Wohnzimmern	153
6.1.4	Kaltwasserverbrauch	154
6.1.5	Warmwasserverbrauch	154
6.2	Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme	155
6.2.1	Endenergieverbrauch gesamt	155
6.2.2	Energieverbrauch Heizung und Warmwasser	156
6.2.3	Endenergieverbrauch Hilfs- und Allgemeinstrom	156
6.2.4	Endenergieverbrauch Haushaltsstrom	157

6.2.5	Heizwärmeverbrauch	158
6.2.6	Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme)	159
6.2.7	Effizienz der Wärmeerzeugung	159
6.2.8	Lade-, Speicher- und Verteilverluste	159
6.2.9	PV-Stromerzeugung	162
6.3	Optimierung der Haustechniksysteme im ersten Betriebsjahr	165
6.3.1	Beschwerden der Bewohner	165
6.3.2	Hydraulischer Abgleich Frischwasserstationen	165
6.3.3	Änderungen Regelungseinstellungen durch Siemens	165
6.3.4	Umbau des Rücklaufs der Frischwasserstationen	166
	Abbildungsverzeichnis	169
	Tabellenverzeichnis	175
	Literaturverzeichnis	177
	Abkürzungsverzeichnis	177

1 Projektziele und Inhalte

Ziel des Projekts SüdSan ist es, sozialverträgliche Konzepte zur energetisch und ökologisch hochwertigen Sanierung kleinerer, älterer Mehrfamilienhäuser zu erarbeiten und an zwei repräsentativen Gebäuden in der Südtirolersiedlung Bludenz in der Praxis zu testen.

Da sich etwa 55% der Wohneinheiten in Österreich in Mehrfamilienhäusern befinden und da der Anteil kleinerer, älterer Mehrfamilienhäuser (20er bis 60er Jahre, 3 bis 20 Gebäude) am Gesamt-Wohngebäudepark Österreichs bei 13% liegt (o.A., 2023), haben derartige Gebäude eine hohe Bedeutung für den Erfolg der Energiewende im Gebäudesektor.

Die beiden Mustergebäude in der von 1942 bis 1959 errichteten Südtiroler-Siedlung Bludenz verfügen über 10 bzw. 5 Wohneinheiten. Sie befinden sich energetisch nahezu im Originalzustand und werden ausschließlich über Einzelöfen (Holz, Kohle) oder direktelektrisch beheizt.

Im Rahmen des Projekts wurde eine Vielzahl an Varianten in unterschiedlichen energetischen und ökologischen Qualitäten detailliert geplant und modular ausgeschrieben. Investitions- und Lebenszykluskosten aller Varianten wurden detailliert analysiert. Realisiert wurden zwei energetisch und ökologisch unterschiedliche Varianten, für die sich niedrige Lebenszykluskosten ergaben. Projektziele, Inhalt und Methodik sowie die Planungs- und Realisierungsphase der Gebäude und die Kostenauswertungen sind im Zwischenbericht dargestellt (Ploss, 2025). In diesem Bericht sind auch die Randbedingungen für die Sanierung (EVB-Konto der Gesamtsiedlung deutlich im Minus, Vorgabe des Eigentümers: Sanierung im bewohnten Zustand, Realisierung mit Generalunternehmer, Einstufung in die Kategorie „erhaltenswert“ kurz nach Projektstart, Beteiligung des Bundesdenkmalamts im gesamten Planungsprozess, Studie des Bundesdenkmalamts zur Unterschutzstellung im Jahr 2025...) erläutert.

Im Rahmen eines wissenschaftlichen Monitorings werden die energetische Qualität, die thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität der sanierten Gebäude analysiert.

Die Monitoringergebnisse nach Sanierung wurden mit den Ergebnissen des Monitorings im unsanierten Zustand verglichen.

Die Ergebnisse der detaillierten Analyse der Investitions- und Lebenszykluskosten sowie des Monitorings sollen als Grundlage für Konzepte für die Sanierung der übrigen Gebäude der Siedlung und ähnlicher Gebäude außerhalb der Siedlung dienen.

2 Gebäudebeschreibung

Die Energiekonzepte der Ausführungsvarianten beider Gebäude sind im Zwischenbericht detailliert dargestellt, ebenso die bauliche und haustechnische Umsetzung (Ploss, 2025).

Die wichtigsten Kenndaten der Gebäude sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, die darauffolgenden Abbildungen zeigen die Gebäude vor und nach der Sanierung. Im Anschluss werden die Energiekonzepte der Gebäude beschrieben.

Tabelle 1: Kenndaten der beiden Mustergebäude vor und nach Sanierung

	kleines Gebäude St. Antoniusstraße 19		großes Gebäude St. Antoniusstraße 12a	
Fertigstellung	1942		1959	
Standort	Bludenz		Bludenz	
Seehöhe	631 m		643 m	
Mitteltemperatur Oktober bis März	4,4 °C Quelle: Meteororm-Klimadatensatz Bludenz, neuere Periode, d.h. 2000 bis 2019			
	Bestand	nach Sanierung	Bestand	nach Sanierung
Anzahl Wohnungen	5	6	10	11
Anzahl Geschosse	E + 1 + 1 DG-Wohnung	E + 1 + 2 DG-Wohnungen	E + 2 + 1 DG-Wohnung	E + 2 + 2 DG-Wohnungen
Anzahl Bewohner	10	11	10	12
BGF	448 m ²	553,6 m ²	745 m ²	906,6 m ²
WNF	315,2 m ²	348,7 m ²	571,8 m ²	639,9 m ²
Energiebezugs- fläche PHPP	326,3 m ²	360,9 m ²	609,4 m ²	648 m ²
WNF pro Person	31,5 m ²	31,7 m ²	57,2 m ²	53,3 m ²
A/V	0,59	0,52	0,51	0,44
A/WNF		3,25 m ² / m ²		2,35 m ² / m ²
Brandschutzklasse	3		4	



Abbildung 10: großes Gebäude vor Sanierung; Fotos: Walser-image



Abbildung 11: kleines Gebäude vor Sanierung; Fotos: Walser-image



Abbildung 12: kleines Gebäude nach Sanierung; Fotos: Walser-image

2.1 Energiekonzept großes Gebäude

2.1.1 Gebäudehülle

Die Gebäudehülle wurde in einer sehr guten energetischen Qualität saniert. Besonderheit ist die teilvorgefertigte Fassadenkonstruktion aus Kreuzlagenhölzern, die außenseitig mit einer Holzweichfaserplatte als Putzträgerplatte versehen wurde und in die sowohl die Wärme- und die Zuluftverteilung, als auch die Wärmeabgabe in Form einer Wandheizung integriert ist. Die Fenster wurden mit Holzrahmen (IV 90) mit einer guten Dreifachverglasung ausgeführt und erhielten Wiener Sprossen. Das Schrägdach wurde aus statischen Gründen ebenso wie die Giebelwände komplett neu errichtet. Die Kelleraußenwände konnten außenseitig bis zur Sohle gedämmt werden, da das Kellergeschoß ohnehin aufgedigelt werden mussten, um gegen Feuchte abgedichtet zu werden. Der Sockelbereich gegen Außenluft und der oberste Teil der Dämmung der Kelleraußenwände wurde deutlich dicker gedämmt. Zusätzlich wurde der obere Teil der Kelleraußenwand innenseitig mit einer Flankendämmung aus EPS versehen. Die Kellerdecke konnte wegen der geringen lichten Höhe nur 8 cm dick gedämmt werden. Aufgrund ihrer niedrigen Wärmeleitfähigkeit wurden PIR-Platten gewählt.

Die Wärmebrücken wurden bestmöglich minimiert. Der mittlere, gewichtete U-Wert der Gebäudehülle inkl. der Fenster und inkl. Wärmebrücken bei $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, der Mittelwert der opaken Bauteile der Gebäudehülle liegt bei $0,167 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Das Gebäude erreichte im Luftdichtheitstest einen hervorragenden n_{50} -Wert von $0,6 \text{ h}^{-1}$. Der Fensterflächenanteil liegt inkl. der neuen, großen Fenster in den Giebelwänden und der Dachflächenfenster bei 14,6% der Wohnnutzfläche. Die wichtigsten Kennwerte der Gebäudehülle sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, einen Überblick über die Ausführung der Hülle und der sonstigen Bauteile zeigt der konstruktive Schnitt in der darauffolgenden Abbildung.

Tabelle 2: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle – großes Gebäude

U-Wert Außenwand nach Sanierung	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,127
U-Wert Giebelwand	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,08
U-Wert Schrägdach	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,13
U-Wert Kellerdecke	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,26
Fenster (U_w -Wert / U_g / g-Wert (Normmaßbezug))	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) / -$	0,90 / 0,50 / 0,50
Wärmebrückenzuschlag	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,025
mittlerer, gewichteter U-Wert inkl. Fenstern (inkl. Wärmebrücken)	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,24
mittlerer, gewichteter U-Wert opak (inkl. Wärmebrücken)	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,167
Messwert der Luftdichtheit n_{50}	h^{-1}	0,6
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/WNF)	%	14,6%

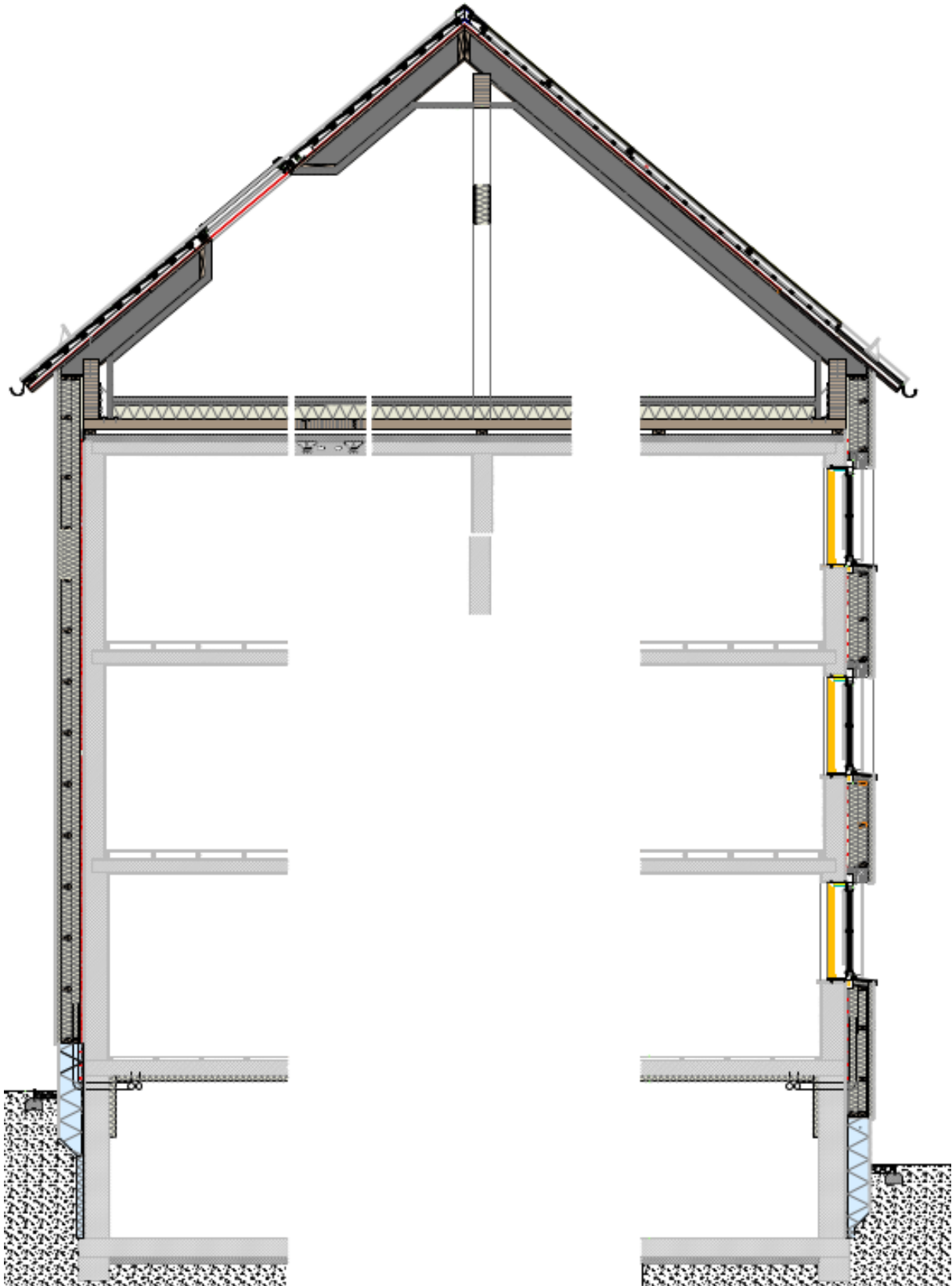


Abbildung 13: konstruktiver Schnitt, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

2.1.2 Energierrelevante Haustechnik

Das Gebäude hat eine zentrale Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. Das Lüftungsgerät steht im Keller, die Horizontalverteilung der Luft erfolgt unter der Kellerdecke und auf der obersten Geschosdecke, die Vertikalverteilung in der neuen Fassade. Die Abluft wird über vorhandene Kamine und Schächte in den Keller geführt, so dass in den Wohnungen keine Lüftungsleitungen notwendig sind. Der Luftwechsel ist auf Grundlage der Personenzahl auf $0,40 \text{ h}^{-1}$ ausgelegt.

Die Raumluftfeuchte des Kellers wird über eine separate Abluftanlage geregelt. Im Trockenraum im KG steht zusätzlich ein Entfeuchtungsgerät.

Die folgende Abbildung zeigt ein vereinfachtes Haustechnikschema.

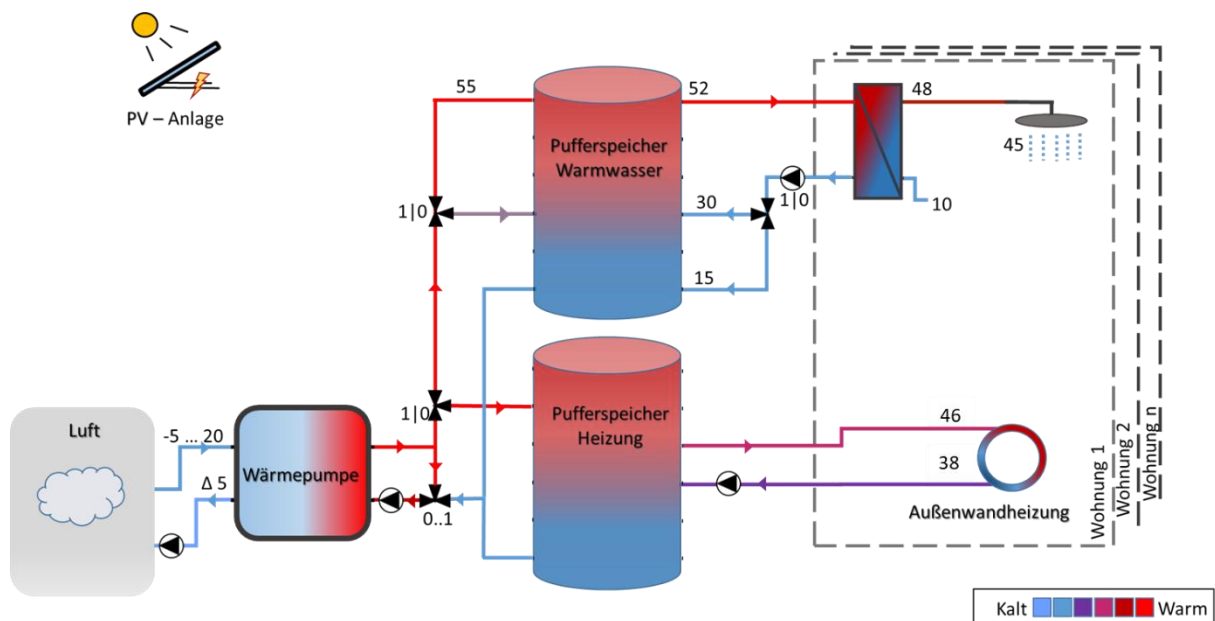


Abbildung 14: vereinfachtes Haustechnikschema großes Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg

Die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser erfolgt durch eine Luft-Wärmepumpe. Gewählt wurde ein sehr effizientes, modulierendes Gerät mit dem Kältemittel Propan. Die Wärmepumpe konnte klein dimensioniert werden, da das Gebäude aufgrund des sehr guten Wärmeschutzes und der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung eine sehr niedrige maximale Heizlast hat. Diese wurde in der Berechnung mit PHPP-Standardannahmen zu $13 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$ bestimmt.

Die Wärmepumpe gibt ihre Wärme an zwei in Reihe geschaltete Pufferspeicher mit jeweils 1.000 Liter ab. Der Großteil des Speichervolumens steht für die Warmwasserbereitung zur Verfügung, der untere Teil eines Speichers für die Heizung. Aus dem Speicher wird die Wärme über ein Vierleitersystem mit wohnungsweisen Frischwasserstationen verteilt.

Besonderheit des Projekts ist ein erstmals eingesetztes Wandheizungssystem, bei dem die Wärme für die Wohnungen des EG, des ersten und des zweiten OG ausschließlich über eine Flächenheizung auf der Außenseite der Bestands-Außenwand eingebracht wird. Neben der Wärmeabgabe ist auch die Wärmeverteilung in die neuen Fassaden aus teilvorgefertigten Kreuzlagenhölzern integriert. Der Systemaufbau ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 15: Schematischer Aufbau der Außenwand mit Bauteilaktivierung und teil-vorgefertigten Holzfassadenelementen; Energieinstitut Vorarlberg

Das System wurde in dynamischen Gebäude- und Anlagensimulationen in zahlreichen Varianten untersucht und optimiert.

Die Simulationen zeigten, dass aufgrund des von Raum zu Raum unterschiedlichen Verhältnisses von Außenwandfläche (= Heizfläche) zu Wohnnutzfläche und der raumweise unterschiedlichen Heizlast eine Einzelraumregelung sinnvoll ist.

Die Wohnungen im DG werden über eine Fußbodenheizung versorgt. Zur Beheizung ist gemäß dynamischer Gebäudesimulation eine außentemperaturabhängige Vorlauftemperatur von maximal 46°C ab -10°C Außenlufttemperatur notwendig. Diese, für eine Flächenheizung relativ hohe Temperatur ist notwendig, um auch in den Räumen mit relativ geringer Außenwandfläche (= Heizfläche, siehe vorherige Abbildung) die notwendige Wärmeleistung einbringen zu können. Das Warmwasser wird über wohnungsweise Frischwasserstationen mit ca. 32-50 kW Leistung (50/40°C) - je nachdem ob mit Badewanne oder Dusche - erwärmt. Die Warmwasser-Vorlauftemperatur ist auf etwa 55°C, die Warmwasser-Zapftemperatur auf 45°C ausgelegt. Höhere Temperaturen zur Legionellen-Prophylaxe sind nicht erforderlich, da es sich aufgrund der wohnungsweisen Frischwasserstationen um ein dezentrales System handelt.

Auf der etwa 14° von der Südrichtung abweichenden Dachhälfte des großen Gebäudes wurde eine vorgefertigte, monokristalline Indach-PV-Anlage mit einer Leistung von 25,5 kWp installiert. Der Platzbedarf beträgt 120 m² bei einer Dachneigung von 40°.

Der PV-Strom soll für alle Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom genutzt werden. Ein Batteriespeicher ist nicht vorgesehen. Jedes PV-Modul besitzt einen eigenen Optimierer, sodass der Ertrag jedes PV-Moduls abgelesen werden kann.

Wie in allen Neubau-Wohnanlagen der Alpenländischen wurde in dieser Sanierung eine MSR installiert.

Die wichtigsten Kennwerte der Haustechniksysteme sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 3: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle – großes Gebäude

Lüftungssystem und Luftwechselrate	zentrale Komfortlüftung mit WRG	0,40 h ⁻¹	
Heizlast PHPP (20°C)	8,4 kW	13 W/m ² _{EBF}	
Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (Typ, absolute und spezifische Leistung)	Luftwärmepumpe IDM Aero ALM 10 -24	10 - 24 kW	15 - 37 W/m ² _{EBF}
Wärmespeicher Typ und Größe	Pufferspeicher	2 * 1.000 Liter	
Wärmeverteilsystem	Vierleiter mit wohnungsweisen Frischwasserstationen		
Wärmeabgabesystem Typ und Temperaturniveau	Außenwandheizung (EG, 1. OG, 2. OG) Fußbodenheizung (DG)	45°C / 38°C	
Solarthermie Fläche absolut und spezifisch	-	-	-
PV-Leistung absolut und spezifisch	25,5 kW _p	28 W/m ² _{BGF}	39 W/m ² _{EBF}
Batteriespeicher absolut und spezifisch	-	-	-

2.1.3 Energiekennwerte

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Ergebnisse der PHPP-Berechnungen sowie die zugrundeliegenden Annahmen und Randbedingungen zusammengestellt. Die linke Spalte zeigt die Ergebnisse der Berechnungen mit PHPP-Standard-Randbedingungen, die rechte die der Verbrauchsprognoseberechnungen mit projektspezifisch angepassten Annahmen und Randbedingungen.

Tabelle 4: Energiekennwerte PHPP mit Standard-Randbedingungen und als Verbrauchsprognoseberechnung

		PHPP	
		Standard-Randbedingungen	Verbrauchsprognose
Annahmen und Randbedingungen			
Anzahl Personen	Zahl	17,8	12
mittlere Raumlufthtemperatur Heizperiode	°C	20	22,5
mittlerer pro Kopf-WW-Bedarf	Liter pro Person (Tag) bei 60°	25	32,5
temporäre Verschattung Heizperiode	Faktor	0,9	0,9
Luftwechselrate Heizperiode	h ⁻¹	0,407	0,407
Ergebnisse			
Heizlast	W/m ² _{EBF}	13,0	14,9
Heizwärmebedarf PHPP	kWh/(m ² _{EBFa})	22,9	31,8
Endenergie Heizung	kWh/(m ² _{EBFa})	10,2	12,9
Endenergie Warmwasser	kWh/(m ² _{EBFa})	8,9	7,8
Endenergie Heizung + Warmwasser	kWh/(m²_{EBFa})	19,1	20,7
Hilfs- und Allgemeinstrom	kWh/(m ² _{EBFa})	7,7	7,9
Haustechnik gesamt	kWh/(m ² _{EBFa})	26,8	28,6
Haushalts- und Allgemeinstrom	kWh/(m ² _{EBFa})	26,1	20,0
Endenergie gesamt	kWh/(m²_{EBFa})	52,9	48,6
PV-Erzeugung	kWh/(m ² _{EBFa})	42,4	42,4
PER Bedarf	kWh/(m ² _{EBFa})	63	k.A.
PER Erzeugung	kWh/(m ² _{überbaute Fläche})	115,6	115,6

Der Heizwärmebedarf gemäß PHPP-Berechnung mit Standard-Randbedingungen liegt bei 22,9 kWh/(m²_{EBFa}). Das Gebäude erreicht damit den Anforderungswert des Standards EnerPHit von 25 kWh/(m²_{EBFa}).

In der Verbrauchsprognoseberechnung mit einer Raumlufthtemperatur von 22,5°C liegt der Heizwärmebedarf bei 31,8 kWh/(m²_{EBFa}).

Der Endenergiebedarf für Heizung beträgt gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung 12,9 kWh/(m²_{EBFa}). Er stimmt gut mit dem Wert gemäß dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation überein: Bei vergleichbaren Annahmen (Solltemperatur Heizung: 22,5°C, Bad 24°C) ist gemäß Simulation ein spezifischer Endenergieverbrauch von 13,3 kWh/(m²_{EBFa}) über die Wärmepumpe zzgl. 4,4 kWh/(m²_{EBFa}) für die elektrisch direkte Zusatzheizung der Bäder zu erwarten³.

Der prognostizierte Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser beträgt gem. PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung 20,7 kWh/(m²_{EBFa}), der gesamte Haustechnik-Stromverbrauch inkl. Hilfsstrom 28,6 kWh/(m²_{EBFa}). Der in der Verbrauchsprognoseberechnung ermittelte

³ Die elektrisch direkte Heizung der Bäder wurde nicht ausgeführt, um zu testen, ob sich durch den Wärmeaustausch zwischen den Räumen behagliche Raumlufthtemperaturen im Bad auch ohne direkte Beheizung einstellen. Ist dies nicht der Fall, kann sie mit geringem Aufwand nachgerüstet werden.

Endenergiebedarf_{gesamt} liegt bei etwa 48,6 kWh/(m²_{EBFa}). Dies entspricht für das große Gebäude einem auf die Wohnnutzfläche bezogenen Wert von 50,3 kWh/(m²_{WNFa}).

Diesem prognostizierten Gesamtverbrauch steht ein prognostizierter PV-Jahresertrag von 42,4 kWh/(m²_{EBFa}) gegenüber. Dies entspricht 42,9 kWh/(m²_{WNFa}).

Das Gebäude erfüllt alle Anforderungen des Standards EnerPHit Plus.

2.2 Energiekonzept kleines Gebäude

2.2.1 Gebäudehülle

Die Gebäudehülle wurde in einer sehr guten energetischen Qualität saniert. Die Außenwand erhielt ein WDVS mit 24 cm Holzweichfaserplatten, die Fenster wurden mit Holzrahmen IV 90 und einer guten Dreifachverglasung ausgeführt und erhielten Wiener Sprossen.

Das Schrägdach wurde aus statischen Gründen wie die Giebelwände komplett neu errichtet. Die Kelleraußenwände konnten außenseitig bis zur Sohle gedämmt werden, da das Kellergeschoß ohnehin aufgedigelt werden mussten, um abgedichtet zu werden. Der Sockelbereich gegen Außenluft und der oberste Teil der Dämmung der Kelleraußenwände wurde mit 20 cm deutlich dicker gedämmt. Zusätzlich wurde der obere Teil der Kelleraußenwand innenseitig mit einer Flankendämmung aus 8 cm EPS gedämmt.

Die Kellerdecke konnte wegen der geringen lichten Höhe nur mit 8 cm gedämmt werden. Aufgrund ihrer sehr guten Wärmeleitfähigkeit wurden PIR-Platten gewählt.

Die Wärmebrücken – etwa an den Fensteranschlüssen und am Anschluss der Kellerdecke - wurden bestmöglich minimiert. Der mittlere, gewichtete U-Wert der Gebäudehülle inkl. der Fenster und inkl. Wärmebrücken bei 0,262 W/(m²K), der mittlere Wert der opaken Bauteile der Gebäudehülle bei 0,192 W/(m²K).

Das Gebäude erreichte im Luftdichtheitstest einen sehr guten n₅₀-Wert von 0,79 h⁻¹.

Der Fensterflächenanteil liegt inkl. der neuen, großen Fenster in den Giebelwänden und der Dachflächenfenster bei 17,3% der Wohnnutzfläche. Die wichtigsten Kennwerte der Gebäudehülle sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, einen Überblick über die Ausführung der Gebäudehülle und der sonstigen Bauteile zeigt der konstruktive Schnitt.

Tabelle 5: Energierrelevante Kennwerte der Gebäudehülle – kleines Gebäude

U-Wert Außenwand nach Sanierung	W/(m ² K)	0,144
U-Wert Giebelwand	W/(m ² K)	0,08
U-Wert Schrägdach	W/(m ² K)	0,13
U-Wert Kellerdecke	W/(m ² K)	0,249
Fenster (U _w -Wert / Ug / g-Wert (Normmaßbezug)	W/(m ² K) / -	0,90 / 0,53 / 0,53
Wärmebrückenzuschlag	W/(m ² K)	0,025
mittlerer, gewichteter U-Wert inkl. Fenstern (inkl. Wärmebrücken)	W/(m ² K)	0,262
mittlerer, gewichteter U-Wert opak (inkl. Wärmebrücken)	W/(m ² K)	0,192
Messwert der Luftdichtheit n ₅₀	h ⁻¹	0,79
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/WNF)	%	17,3%

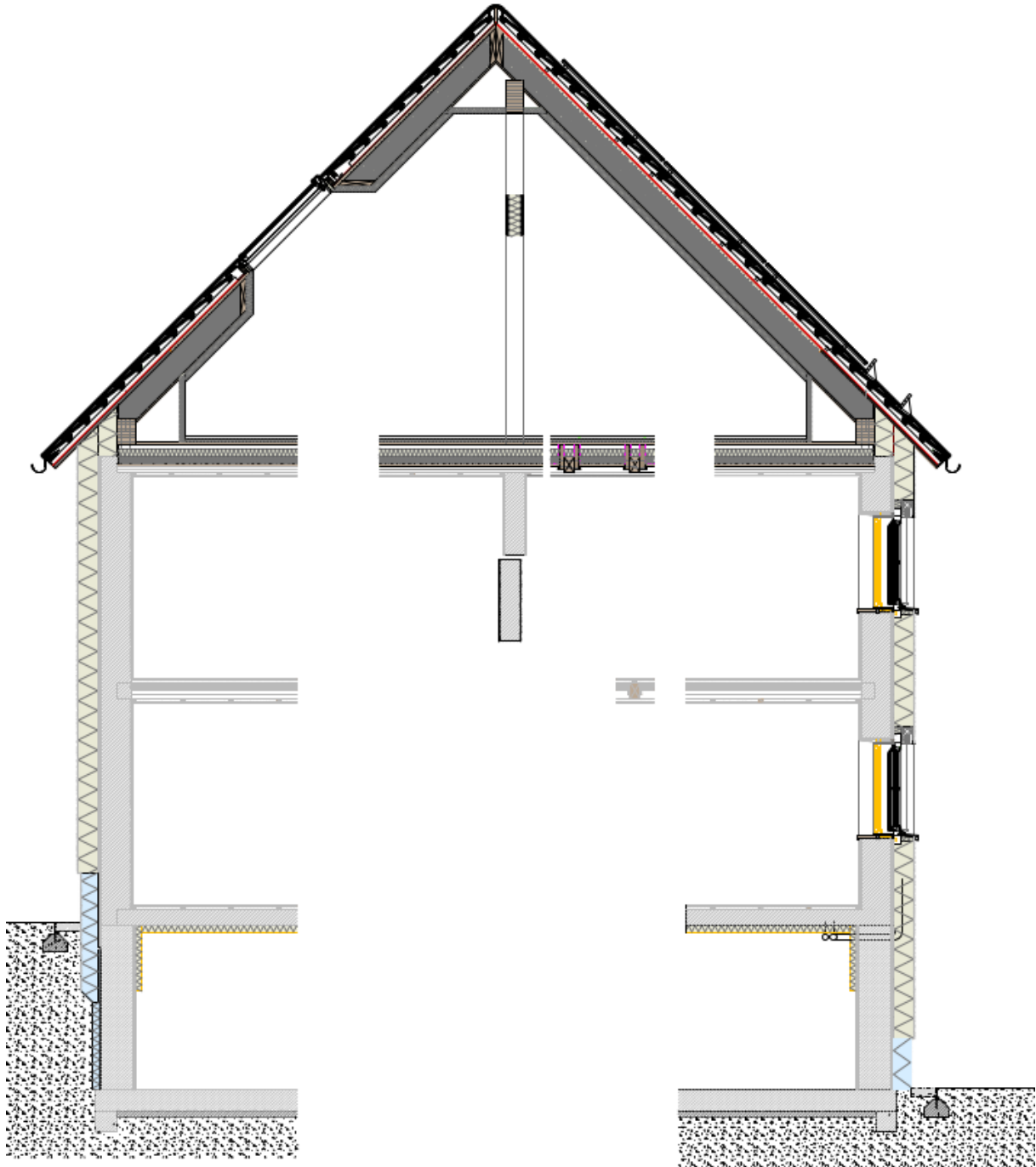


Abbildung 16: konstruktiver Schnitt, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH

2.2.2 Energierrelevante Haustechnik

Das Gebäude wurde mit einer zentralen Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Das Lüftungsgerät steht im Keller, die Horizontalverteilung der Luft erfolgt unter der Kellerdecke und auf der obersten Geschosßdecke, die Vertikalverteilung in der neuen Fassade. Die Abluft wird über vorhandene Kamine und Schächte in den Keller geführt, so dass in den

Wohnungen keine Lüftungsleitungen notwendig sind. Der Luftwechsel ist wegen der deutlich höheren Belegungsdichte mit $0,48 \text{ h}^{-1}$ höher ausgelegt als im großen Gebäude. Die Raumluftfeuchte des Kellers wird über eine separate Abluftanlage geregelt. Zusätzlich wurde im Trockenraum im KG ein Entfeuchtungsgerät installiert. Die folgende Abbildung zeigt ein vereinfachtes Haustechnikschema.

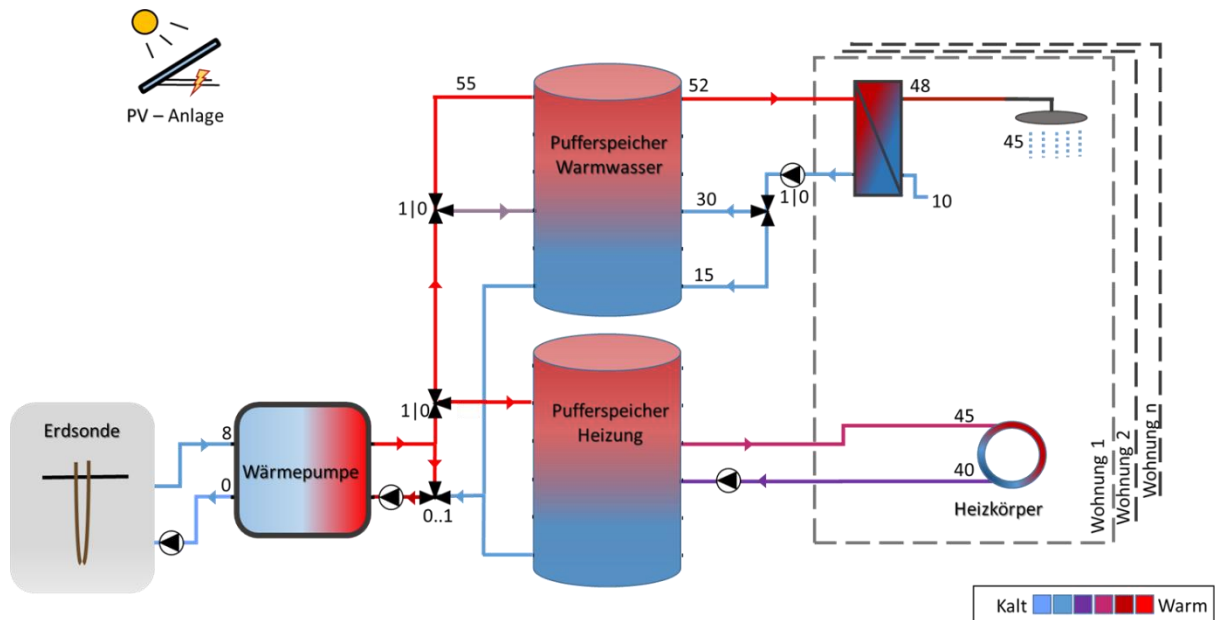


Abbildung 17: Vereinfachtes Haustechnikschema, kleines Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg

Die Wärmeherzeugung für Heizung und Warmwasser erfolgt durch eine Erdreich-Wärmepumpe. Da das geplante, einzige marktreife Gerät mit Kältemittel Propan wegen Lieferschwierigkeiten nicht verfügbar war, wurde ein modulierendes Gerät mit Kältemittel R 134a eingesetzt. Während das Gerät mit Kältemittel Propan aus Brandschutzgründen außen aufgestellt worden wäre, konnte das Gerät mit herkömmlichem Kältemittel im Heizungskeller aufgestellt werden. Sonden und Wärmepumpe konnten sehr klein dimensioniert werden, da das Gebäude aufgrund des sehr guten Wärmeschutzes und der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung eine sehr niedrige maximale Heizlast hat.

Diese wurde in der Berechnung mit PHPP-Standardannahmen zu $19 \text{ W/m}^2_{\text{EBF}}$ bestimmt. Eingesetzt wurden zwei Sonden a 89 m. Die Wärmepumpe hat eine Heizleistung (B0W35) von 9,1 kW. Heizungs- und Solepumpe sind integriert.

Die Wärmepumpe gibt ihre Wärme an zwei in Reihe geschaltete Pufferspeicher mit jeweils 820 Liter ab. Der Großteil des Speichervolumens steht für die Warmwasserbereitung zur Verfügung, der untere Teil eines Speichers für die Heizung. Aus dem Speicher wird die Wärme über ein Vierleitersystem mit wohnungsweisen Frischwasserstationen verteilt.

Die Wohnungen im EG und im 1. OG werden ebenso über Niedertemperatur-Heizkörper beheizt wie die neuen Wohnungen im DG. Zur Beheizung ist gemäß dynamischer Gebäudesimulation eine außentemperaturabhängige Vorlauftemperatur von maximal 45°C bei Außenlufttemperaturen ab -10°C notwendig.

Das Warmwasser wird über wohnungsweise Frischwasserstationen mit ca. 32-50 kW Leistung (50/40°C) erwärmt - je nachdem, ob Badewanne oder Dusche vorhanden sind. Die Warmwasser-Vorlauftemperatur ist auf etwa 52°C, die Warmwasser-Zapftemperatur auf etwa 45°C ausgelegt. Höhere Temperaturen zur Legionellen-Prophylaxe müssen nicht erreicht werden, da es sich aufgrund der wohnungsweisen Frischwasserstationen um ein dezentrales System handelt.

Im kleinen Gebäude wurde eine Aufdach-PV-Anlage mit 16,2 kW_p auf der ca. 30° von der Südrichtung abweichenden Dachhälfte installiert. Der Platzbedarf beträgt ca. 80 m² bei einer Dachneigung von 45°.

Die Ertragsprognose des Anbieters liegt bei ca. 19.200 kWh/a, was einem spezifischen Ertrag von 1.187 kWh/kW_p entspricht. Die überschlägliche Ertragsprognose mit PHPP liegt bei 16.800 = 1.040 kWh/kW_p. Der PV-Strom soll für alle Energieanwendungen inkl. Haushaltsstrom genutzt werden. Ein Batteriespeicher ist nicht vorgesehen.

Wie in allen Neubau-Wohnanlagen der Alpenländischen wurde in dieser Sanierung eine MSR installiert.

Die wichtigsten Kennwerte der Haustechniksysteme sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 6: Energierelevante Kennwerte der Haustechniksysteme – kleines Gebäude

Lüftungssystem und Luftwechselrate	zentrale Komfortlüftung mit WRG	0,48 h ⁻¹	
Heizlast PHPP (20°C)	6,8 kW	19 W/m ² _{EBF}	
Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (Typ, absolute und spezifische Leistung)	Erdreich-Wärmepumpe Hoval Thermalia Comfort H (10)	9,1 kW (B0W35)	25 W/m ² _{EBF}
Wärmespeicher Typ und Größe	Pufferspeicher	2 * 820 Liter	
Wärmeverteilsystem	Vierleiter mit wohnungsweisen Frischwasserstationen		
Wärmeabgabesystem Typ und Temperaturniveau	Heizkörper (EG, 1. OG, DG)	45°C / 38°C	
Solarthermie Fläche absolut und spezifisch	-	-	-
PV-Leistung absolut und spezifisch	16,2 kW _p	29 W/m ² _{BGF}	45 W/m ² _{EBF}
Batteriespeicher absolut und spezifisch	-	-	-

2.2.3 Energiekennwerte

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Ergebnisse der PHPP-Berechnungen sowie die zugrundeliegenden Annahmen und Randbedingungen für das kleine Gebäude zusammengestellt. Die linke Spalte zeigt die Ergebnisse der Berechnungen mit PHPP-Standard-Randbedingungen, die rechte die der Verbrauchsprognoseberechnungen mit den projektspezifisch angepassten Randbedingungen für die Verbrauchsprognose.

Tabelle 7: Energiekennwerte PHPP mit Standard-Randbedingungen und als Verbrauchsprognoseberechnung

		PHPP	
		Standard-Randbedingungen	Verbrauchsprognose
Annahmen und Randbedingungen			
Anzahl Personen	Zahl	9,9	11
mittlere Raumlufttemperatur Heizperiode	°C	20	22,5
mittlerer pro Kopf-WW-Bedarf	Liter pro Person (Tag) bei 60°	25	32,5
temporäre Verschattung Heizperiode	Faktor	0,9	0,9
Luftwechselrate Heizperiode	h ⁻¹	0,477	0,477
Ergebnisse			
Heizlast	W/m ² _{EBF}	19,0	21,8
Heizwärmebedarf PHPP	kWh/(m ² _{EBFa})	36,2	51,9
Endenergie Heizung	kWh/(m ² _{EBFa})	10,6	14,3
Endenergie Warmwasser	kWh/(m ² _{EBFa})	10	11,8
Endenergie Heizung + Warmwasser	kWh/(m²_{EBFa})	20,6	26,1
Hilfs- und Allgemeinstrom	kWh/(m ² _{EBFa})	8,7	8,7
Haustechnik gesamt	kWh/(m ² _{EBFa})	29,3	34,8
Haushalts- und Allgemeinstrom	kWh/(m ² _{EBFa})	25,8	28
Endenergie gesamt	kWh/(m²_{EBFa})	55,1	62,8
PV-Erzeugung	kWh/(m ² _{EBFa})	46,6	46,6
PER Bedarf	kWh/(m ² _{EBFa})	77,4	k.A.
PER Erzeugung	kWh/(m ² _{überbaute Fläche})	85,4	85,4

Der in der PHPP-Berechnung mit Standard-Randbedingungen bestimmte Heizwärmebedarf liegt bei 36,2 kWh/(m²_{EBFa}) und damit trotz fast identischer U-Werte deutlich höher als im großen Gebäude. Grund ist das deutlich schlechtere A/V-Verhältnis.

In der Verbrauchsprognoseberechnung mit einer Raumlufttemperatur von 22,5°C liegt der Heizwärmebedarf bei 51,9 kWh/(m²_{EBFa}). Der Endenergiebedarf für Heizung beträgt gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung 14,3 kWh/(m²_{EBFa}).

Der in der Verbrauchsprognose ermittelte Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser liegt bei 26,1 kWh/(m²_{EBFa}), der gesamte Haustechnik-Stromverbrauch inkl. des Hilfsstroms bei 34,8 kWh/(m²_{EBFa}) und der Endenergiebedarf_{gesamt} bei knapp 63 kWh/(m²_{EBFa}). Dies entspricht für das Gebäude einem auf die WNF bezogenen Wert von 65 kWh/(m²_{WNFa}).

Diesem prognostizierten Gesamtverbrauch steht ein prognostizierter PV-Jahresertrag von 46,4 kWh/(m²_{EBFa}) gegenüber. Dies entspricht 48,3 kWh/(m²_{WNFa}).

3 Monitoring

Die Sanierung der Gebäude wurde im April 2023 begonnen und dauerte bis Februar/März 2024. Die neu geschaffenen Wohnungen im Dachgeschoss beider Gebäude konnten im Februar und April 2024 bezogen werden.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse des Monitorings des ersten Betriebsjahrs vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 dargestellt.

Für das Monitoring nach Sanierung liegen – wie für das Monitoring vor Sanierung – Einverständniserklärungen aller Mieter vor. Die wohnungsbezogenen Daten werden anonymisiert.

Die Monitoringergebnisse des ersten Jahres beschreiben die energetische Performance und Behaglichkeit der Gebäude im Erstzustand nach Sanierung bzw. nach einigen Änderungen an den Ersteinstellungen der Regelung bzw. sonstigen haustechnischen Optimierungen. Die wichtigsten dieser Änderungen und Optimierungen sind in den Kapiteln 5.3 und 6.3 beschrieben.

Das Monitoring wird nach dem Ende des Projekts SüdSan noch bis Mitte 2027 weitergeführt – ein aktualisierter Bericht zum Monitoring des zweiten Betriebsjahrs ist für Mitte 2026 geplant.

3.1 Inhalt und Ziel

Wichtigstes Ziel des Monitorings ist es, zu überprüfen, ob die berechneten, sehr niedrigen Energiebedarfswerte in der Praxis erreicht werden und ob die eingesetzten Haustechniksysteme effizient arbeiten.

Außerdem werden die wichtigsten Komfort- bzw. Behaglichkeitsparameter erfasst.

Die Messwerte der Raumlufttemperatur sowie der Wetterbedingungen während der Heizperiode werden zur Überprüfung der Annahmen für die PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung verwendet, in der der Endenergieverbrauch für die Beheizung der Gebäude vor Sanierung abgeschätzt wurde. Die Verbrauchsprognose dient u.a. dazu, die realen Energieeinsparungen, die Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie die Reduktion der Energiekosten zu bestimmen.

Zusätzlich werden Temperatur und Luftfeuchte im Keller gemessen, um Aussagen über das thermisch-hygrische Verhalten der Kellerzonen treffen zu können.

3.2 Konzept

Zum Monitoring der Energieverbräuche, der PV-Stromerzeugung, der Wärmeströme sowie der wichtigsten Behaglichkeitsparameter wurde auf die nachfolgend beschriebenen Datenquellen zurückgegriffen. Um die forschungsbedingten Mehrkosten des Monitorings zu minimieren, wurde wo möglich auf ohnehin vorhandene Datenquellen wie das MSR-System und die Messeinrichtungen zur Heizkostenabrechnung zurückgegriffen. Die folgende Abbildung stellt den Aufbau der Messtechnik schematisch dar:

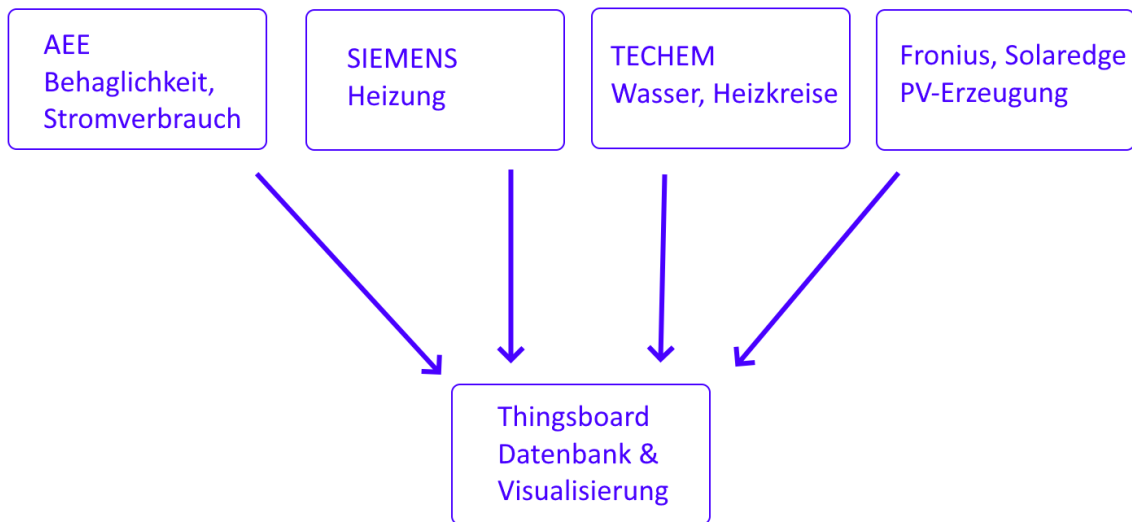


Abbildung 18: Schematischer Aufbau Messtechnik

Die Daten werden aus den verschiedenen Quellen in eine gemeinsame Datenbank überführt und mittels der Software "Thingsboard" übersichtlich, und für alle Projektbeteiligten zugänglich, dargestellt. Folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Dashboards:

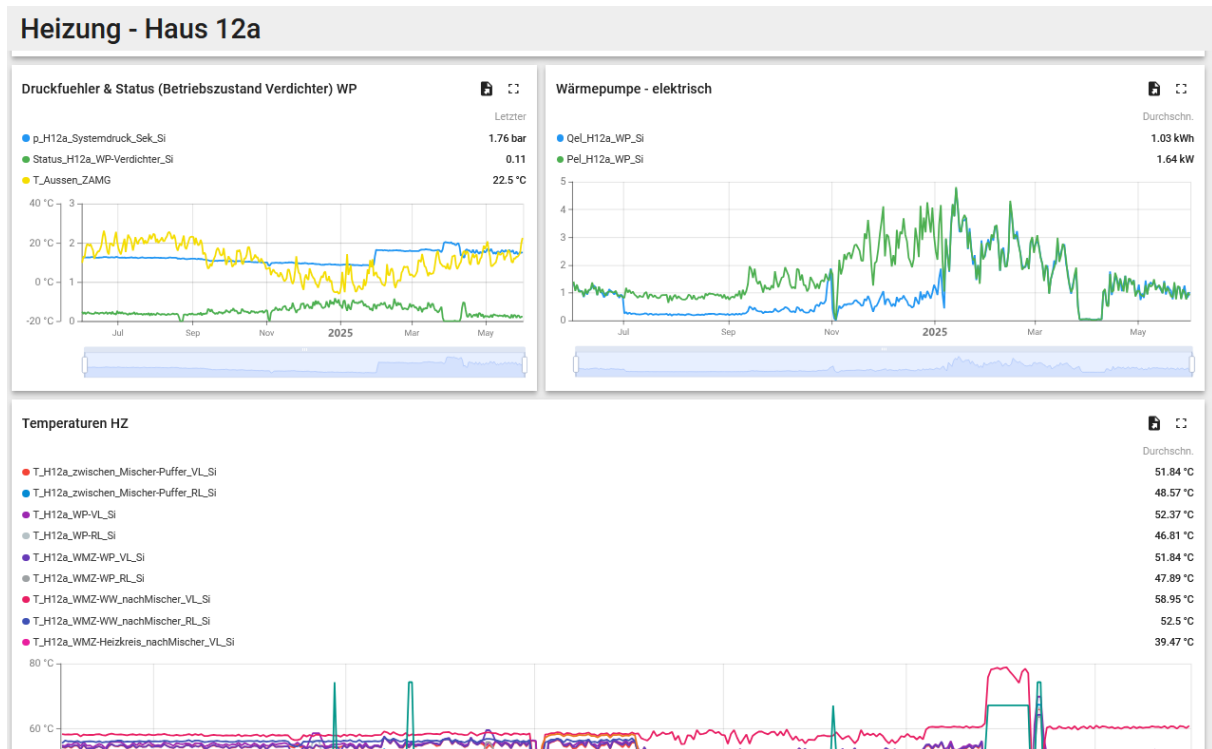


Abbildung 19: Dashboard-Beispiel

3.2.1 MSR Siemens

Die Alpenländische stattet seit einigen Jahren alle Neubauprojekte mit MSR-Systemen der Fa. Siemens aus. Sie entschied, diese MSR erstmals auch in einem Sanierungsprojekt einzusetzen. Die Siemens MSR wurde daher in beiden Gebäuden als Kern des Monitoringkonzepts für Stromverbräuche, Wärmeströme und Betriebstemperaturen genutzt. Forschungsbedingt wurden einige zusätzliche Datenpunkte ergänzt. Die Ergebnisse können im Siemens Navigator grafisch dargestellt werden, dabei wird jedoch pro Grafik nur eine Messgröße visualisiert. Die folgende Abbildung zeigt ein Monitoringschema für Haus 12a.

Haus 12a

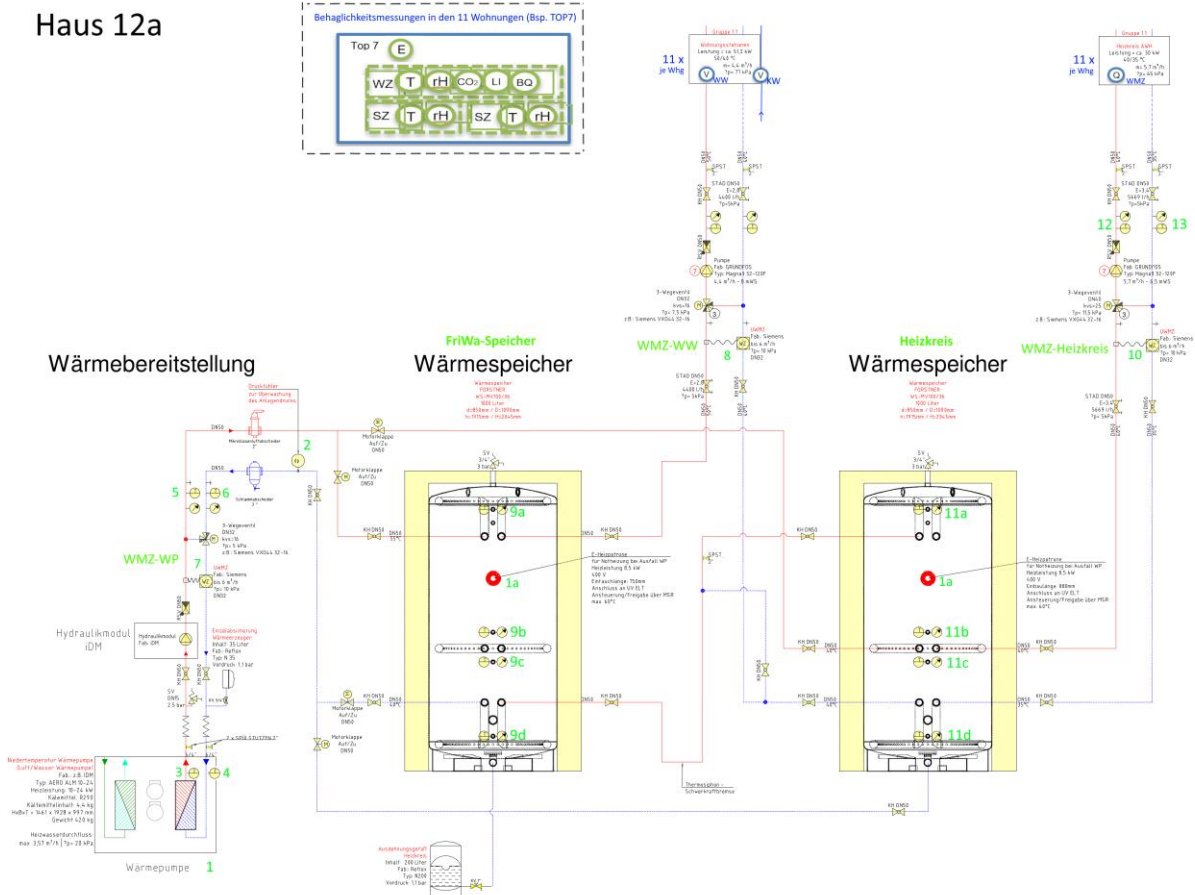


Abbildung 20: Monitoringschema Haus 12a

Die folgende Abbildung zeigt einen Auszug aus der Messtellenliste von Haus 12a.

Position	Ort	Sensortyp Art der Messung	Quelle	Messgrößen	Bezeichnung Dashboards	Einheit	Auflösung
1	Wärmepumpe	MODBUS	Siemens	el.Energie	QeLH12a_WP_Si	kWh	60Min
2				el.Leistung	PeLH12a_WP_Si	kW	15Min
1				Druck	p_H12a_Systemdruck_Sek_Si	kW	15Min
4				Status	Status_H12a_WP-Verdichter_Si	-	15Min
3				T	T_H12a_WP-RL_Si	°C	15Min
				T	T_H12a_WP-VL_Si	°C	15Min
				T	T_H12a_WP-Waermeanf-Visu_Si	°C	15Min
				T	T_H12a_WP-Waermeanf_Si	°C	15Min
5	Wärmepumpe	T-Sensor	Siemens	T	T_H12a_zwischen_Mischer-Puffer_VL_Si	°C	15Min
6				T	T_H12a_zwischen_Mischer-Puffer_RL_Si	°C	15Min
1a	Wärmespeicher E-Patronen	Stromzähler	Siemens	el.Energie	QeLH12a_Puffer_Si	kWh	60Min
				el.Leistung	PeLH12a_Puffer_Si	kW	15Min
1b	Pumpen	Stromzähler	Siemens	el.Energie	QeLH12a_Verteilerpumpen_Si	kWh	60Min
				el.Leistung	PeLH12a_Verteilerpumpen_Si	kW	15Min
1c	PV	Stromzähler	Siemens	el.Energie	QeLH12a_PV_SE	kWh	60Min
				el.Leistung	PeLH12a_PV_SE	kW	15Min
1d	Schaltschrank	Stromzähler	Siemens	el.Energie	QeLH12a_Regelung_Si	kWh	60Min
				el.Leistung	PeLH12a_Regelung_Si	kW	15Min
7	Wärmepumpe	intelligentes Ventil	Siemens	T-Vorlauf	T_H12a_WMZ-WP_VL_Si	°C	15Min
				T-Ruecklauf	T_H12a_WMZ-WP_RL_Si	°C	15Min
				Leistung	P_H12a_WMZ-WP_Si	kW	15Min
				Durchfluss	Vd_H12a_WMZ-WP_Si	m³/h	15Min
				Ventilstellung	VEN_H12a_WMZ-WP_Si	%	15Min
8	Warmwasser	intelligentes Ventil	Siemens	T-Vorlauf	T_H12a_WMZ-WW_vorMischer_VL_Si	°C	15Min
				T-Ruecklauf	T_H12a_WMZ-WW_vorMischer_RL_Si	°C	15Min
				Leistung	P_H12a_WMZ-WW_vorMischer_Si	kW	15Min
				Durchfluss	Vd_H12a_WMZ-WW_vorMischer_Si	m³/h	15Min
				Ventilstellung	VEN_H12a_WMZ-WW_vorMischer_Si	%	15Min
9a	FRIWA-Speicher	T-Sensor	Siemens	T	T_H12a_Speicher_o_FRIWA_Si	°C	15Min
9b				T	T_H12a_Speicher_om_FRIWA_Si	°C	15Min
9c				T	T_H12a_Speicher_um_FRIWA_Si	°C	15Min
9d				T	T_H12a_Speicher_u_FRIWA_Si	°C	15Min
10	Heizkreis	intelligentes Ventil	Siemens	T-Vorlauf	T_H12a_WMZ-Heizkreis_vorMischer_VL_Si	°C	15Min
				T-Ruecklauf	T_H12a_WMZ-Heizkreis_vorMischer_RL_Si	°C	15Min
				Leistung	P_H12a_WMZ-Heizkreis_vorMischer_Si	kW	15Min
				Durchfluss	Vd_H12a_WMZ-Heizkreis_vorMischer_Si	m³/h	15Min
				Ventilstellung	VEN_H12a_WMZ-Heizkreis_vorMischer_Si	%	15Min
11a	Wärmespeicher	T-Sensor	Siemens	T	T_H12a_Speicher_o_HZ_Si	°C	15Min
11b				T	T_H12a_Speicher_om_HZ_Si	°C	15Min
11c				T	T_H12a_Speicher_um_HZ_Si	°C	15Min
11d				T	T_H12a_Speicher_u_HZ_Si	°C	15Min
12	Heizkreis	T-Sensor	Siemens	T	T_H12a_Heizkreis_VL_Si	°C	15Min
13				T	T_H12a_Heizkreis_RL_Si	°C	15Min

Abbildung 21: Haus 12a, Auszug Messstellenliste Heizung

Die folgende Abbildung zeigt ein Monitoringschema für Haus 19.

Haus 19

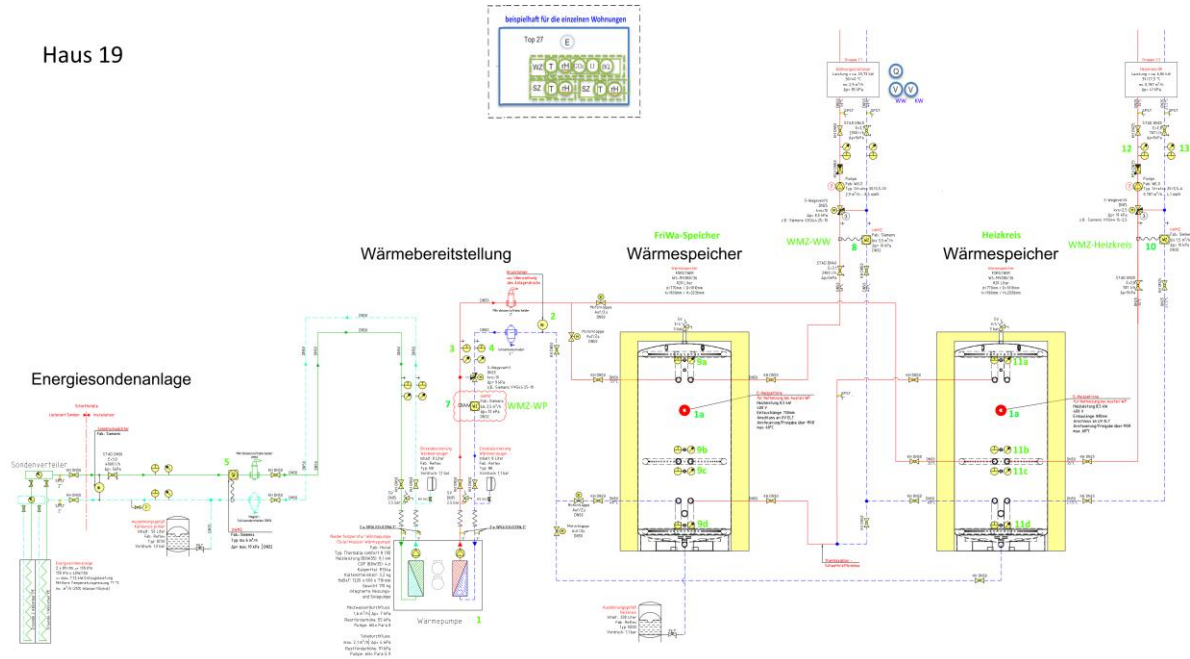


Abbildung 22: Monitoringschema Haus 19

Die folgende Abbildung zeigt einen Auszug aus der Messtellenliste von Haus 19.

Posi	Ort	Sensortyp Art der Messung	Quelle	Messgrößen	Bezeichnung Dashboards	Einheit	Auflösung
1	Wärmepumpe	MODBUS	Siemens	el.Energie	Qel_H19_WP_Si	kWh	60Min
1				el.Leistung	PeL_H19_WP_Si	kW	15Min
2				Druck	p_H19_Systemdruck_Sek_Si	kW	15Min
				T	T_H19_WP-Waermeanf-Visu_Si	°C	15Min
				T	T_H19_WP-Waermeanf_Si	°C	15Min
3	Wärmepumpe	T-Sensor	Siemens	T	T_H19_zwischen_Mischer-Puffer_VL_Si	°C	15Min
4				T	T_H19_zwischen_Mischer-Puffer_RL_Si	°C	15Min
1a	Wärmespeicher E-Patrone	Stromzähler	Siemens	el.Energie el.Leistung	Qel_H19_Puffer_Si PeL_H19_Puffer_Si	kWh kW	60Min 15Min
1b	Pumpen	Stromzähler	Siemens	el.Energie el.Leistung	Qel_H19_Verteilerpumpen_Si PeL_H19_Verteilerpumpen_Si	kWh kW	60Min 15Min
1c	PV	Stromzähler	Siemens	el.Energie el.Leistung	Qel_H19_PV_Si PeL_H19_PV_Si	kWh kW	60Min 15Min
1d	Schaltschrank	Stromzähler	Siemens	el.Energie el.Leistung	Qel_H19_Regelung_Si PeL_H19_Regelung_Si	kWh kW	60Min 15Min
5	Wärmepumpe	Wärmemengenzähler	Siemens	Energie	Q_H19_WMZ-WP_Sole_Si	kWh	15Min
				Volumen	V_H19_WMZ-WP_Sole_Si	m³	15Min
				T-Vorlauf	T_H19_WMZ-WP_Sole_VL_Si	°C	15Min
				T-Ruecklauf	T_H19_WMZ-WP_Sole_RL_Si	°C	15Min
				Leistung	P_H19_WMZ_WP_Sole_Si	kW	15Min
				Durchfluss	Vd_H19_WMZ_WP_Sole_Si	m³/h	
7	Wärmepumpe	intelligentes Ventil	Siemens	T-Vorlauf	T_H19_WMZ-WP_VL_Si	°C	15Min
				T-Ruecklauf	T_H19_WMZ-WP_RL_Si	°C	15Min
				Leistung	P_H19_WMZ-WP_Si	kW	15Min
				Durchfluss	Vd_H19_WMZ-WP_Si	m³/h	15Min
				Ventilstellung	VEN_H19_WMZ-WP_Si	%	15Min
8	Warmwasser	intelligentes Ventil	Siemens	T-Vorlauf	T_H19_WMZ-w'w_vorMischer_VL_Si	°C	15Min
				T-Ruecklauf	T_H19_WMZ-w'w_vorMischer_RL_Si	°C	15Min
				Leistung	P_H19_WMZ-w'w_vorMischer_Si	kW	15Min
				Durchfluss	Vd_H19_WMZ-w'w_vorMischer_Si	m³/h	15Min
				Ventilstellung	VEN_H19_WMZ-w'w_vorMischer_Si	%	15Min
9a	FRIWA-Speicher	T-Sensor	Siemens	T	T_H19_Speicher_o_FRIWA_Si	°C	15Min
9b				T	T_H19_Speicher_om_FRIWA_Si	°C	15Min
9c				T	T_H19_Speicher_um_FRIWA_Si	°C	15Min
9d				T	T_H19_Speicher_u_FRIWA_Si	°C	15Min
10	Heizkreis	intelligentes Ventil	Siemens	T-Vorlauf	T_H19_WMZ-Heizkreis_vorMischer_VL_Si	°C	15Min
				T-Ruecklauf	T_H19_WMZ-Heizkreis_vorMischer_RL_Si	°C	15Min
				Leistung	P_H19_WMZ-Heizkreis_vorMischer_Si	kW	15Min
				Durchfluss	Vd_H19_WMZ-Heizkreis_vorMischer_Si	m³/h	15Min
				Ventilstellung	VEN_H19_WMZ-Heizkreis_vorMischer_Si	%	15Min
11a	Wärmespeicher	T-Sensor	Siemens	T	T_H19_Speicher_o_HZ_Si	°C	15Min
11b				T	T_H19_Speicher_om_HZ_Si	°C	15Min
11c				T	T_H19_Speicher_um_HZ_Si	°C	15Min
11d				T	T_H19_Speicher_u_HZ_Si	°C	15Min
12	Heizkreis	T-Sensor	Siemens	T	T_H19_Heizkreis_VL_Si	°C	15Min
13				T	T_H19_Heizkreis_RL_Si	°C	15Min

Abbildung 23: Haus 19, Auszug Messstellenliste Heizung

3.2.2 Messeinrichtungen Techem

Mit der Energiekostenabrechnung für beide Gebäude wurde von der Alpenländischen die Fa. Techem beauftragt. Die Messeinrichtungen zur Erfassung der Anteile der einzelnen Wohnungen am Gesamt-Wärmeverbrauch für Heizung und Warmwasser sowie des Kalt- und Warmwasserverbrauchs wurden in das Monitoring eingebunden. In den oberen beiden Abbildungen sind diese Wärmemengen-, Kaltwasser-, und Warmwasserzähler schematisch abgebildet.

3.2.3 Behaglichkeits- und Luftqualitäts-Monitoring AEE

Zusätzlich zur Siemens-MSR wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein Monitoringkonzept der AEE umgesetzt, in dem die wichtigsten Behaglichkeits- und Luftqualitätsparameter in allen Wohnungen aufgezeichnet werden. Zusätzlich werden Raumlufttemperaturen und relative Feuchte im Keller sowie der Haushaltsstrom in allen Wohnungen (Energie und Leistung) gemessen.

Das Monitoring der AEE wurde schon vor der Sanierung installiert, so dass die Auswirkungen der Sanierung auf die Behaglichkeit analysiert werden konnten.

Die folgenden Parameter wurden in den einzelnen Wohnungen beider Gebäude erfasst:

Haus 12a

Wohnzimmer:

- Raumlufttemperatur in °C
- Relative Feuchte in %
- CO₂ Konzentration in der Raumluft in ppm
- Lichtstärke in lux

Küche:

- Raumlufttemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

Schlafzimmer:

- Raumlufttemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

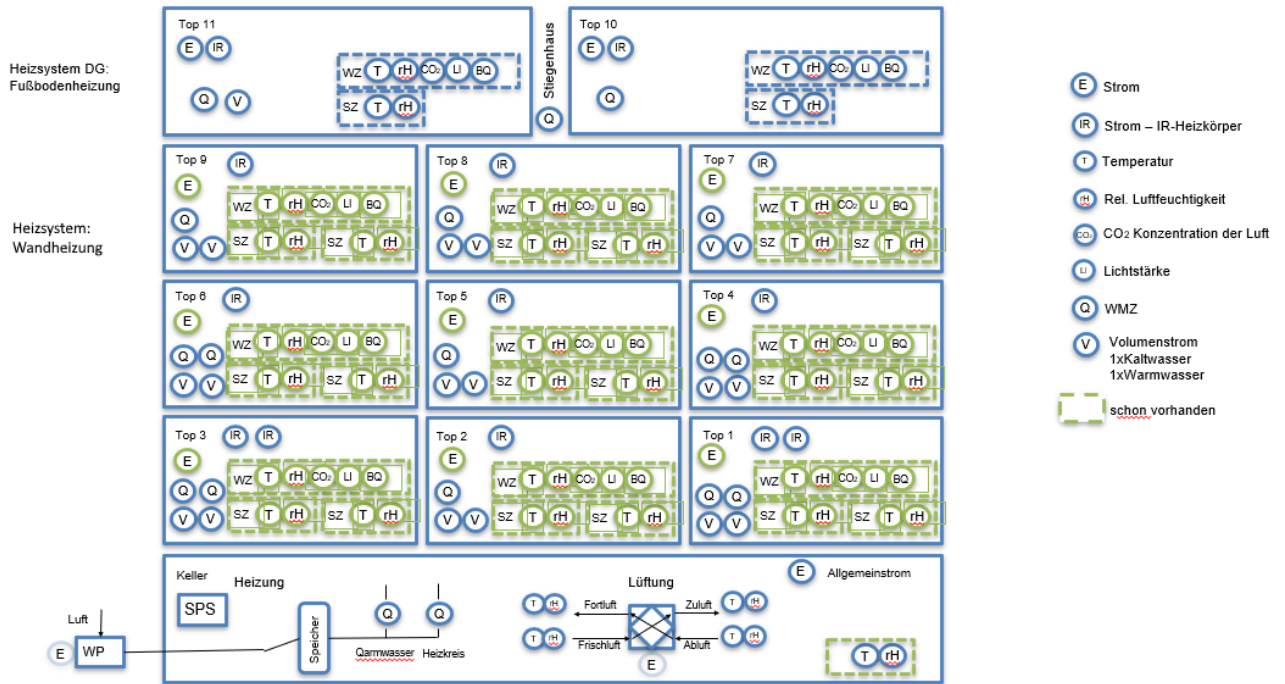


Abbildung 24: Messschema Gebäude 12a

Alle Wohnungen erhielten die gleiche Anzahl und Arten an Sensoren. Zusätzlich wurden im Keller die Raumlufttemperatur und die relative Feuchte gemessen.

Haus 19

Wohnzimmer / Küche:

- Raumlufttemperatur in °C
- Relative Feuchte in %
- CO₂ Konzentration in der Raumluft in ppm
- Lichtstärke in lux

Schlafzimmer 1:

- Raumlufttemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

Schlafzimmer 2:

- Raumlufttemperatur in °C
- Relative Feuchte in %

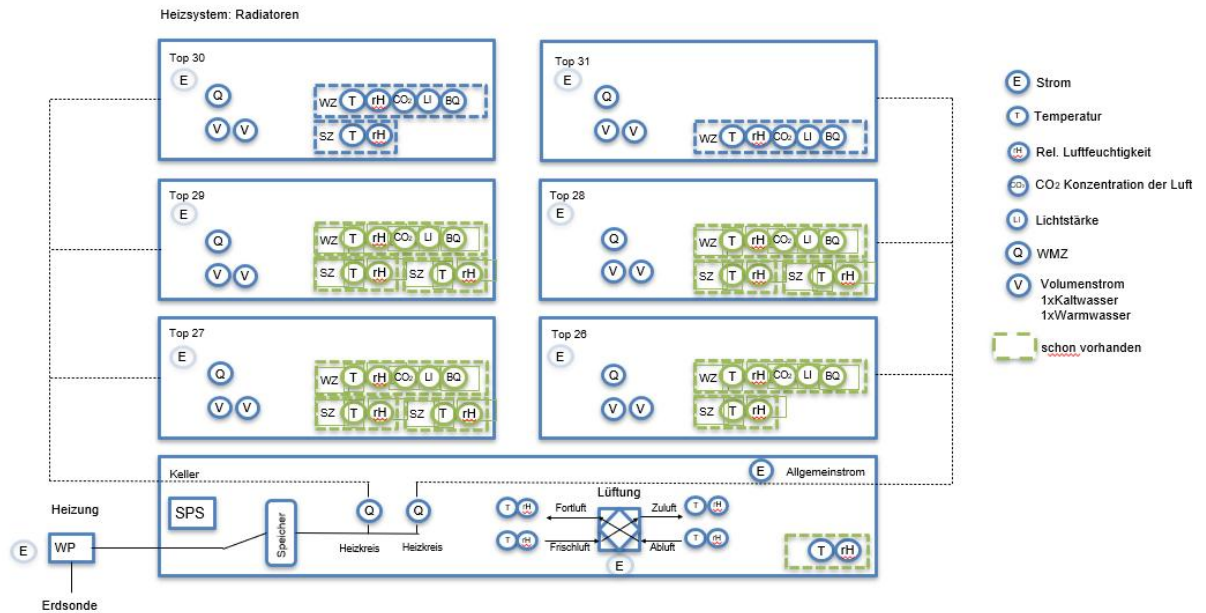


Abbildung 25: Messschema Gebäude 19

Prinzipiell erhielten alle Wohnungen die gleiche Anzahl und Arten an Sensoren.

Ausnahme: In der Wohnung Top 26 wurde auf Ersuchen des Mieters lediglich ein Schlafzimmer vermessen.

Zusätzlich wurden im Keller die Raumlufttemperatur und die relative Feuchte gemessen.

An der Außenwand von Gebäude 12a (Nordseite, ohne direkte Sonneneinstrahlung) wurde ein kombinierter Sensor angebracht. Dieser misst Außentemperatur, Luftfeuchte und den Luftdruck.

3.2.4 AEE Monitoring des Haushalts- und Allgemeinstromverbrauchs

Zur Erfassung des Energieverbrauchs wurden auch die Stromverbräuche der einzelnen Haushalte sowie der Allgemeinstrom beider Gebäude messtechnisch erfasst.

Im Haus 12a wurden bereits vor der Sanierung Stromzähler in den Wohnungen installiert. Im Haus 19 hingegen wäre dies nur durch größere Eingriffe in die marode elektrotechnische Anlage möglich gewesen, weshalb auf eine Umsetzung verzichtet wurde.

Nach der Sanierung erfolgt die Verbrauchserfassung über die SmartMeter der Wohnungen sowie über die Allgemeinstromzähler. Die Auswertung erfolgte über eine LED-Impuls-

erfassung. Das direkte Auslesen über die Nutzerschnittstelle am SmartMeter ist aus Datenschutzgründen nicht ohne Weiteres möglich.

3.2.5 Sonstige Datenquellen

Zusätzlich zu den Daten aus den o.g. Quellen wurden die folgenden zusätzlichen Datenquellen verwendet:

Abrechnungen des Stromversorgers

Zum Abgleich der Messdaten bzw. zur Ergänzung im Fall von Datenausfällen wurden Monatswerte für den Stromverbrauch der Wärmepumpe sowie den Allgemeinstromverbrauch aus der Abrechnung des Stromversorgers verwendet.

Online-Portal der Wärmepumpenhersteller

Als Vergleichswerte wurden für Haus 12a die im online-Portal des Wärmepumpenherstellers IDM aufgezeichneten Werte genutzt.

Online-Portal der Wechselrichterhersteller

Zur Analyse der Erträge der PV-Anlagen beider Gebäude wurde zusätzlich zu den Aufzeichnungen im Siemens-System auf die Aufzeichnungen in den online-Portalen der Hersteller der Wechselrichter (Fronius und Solaredge) zurückgegriffen.

3.3 Zähler und Sensoren

3.3.1 Behaglichkeits-Monitoring

Für die Sensorik wurde die LoRaWAN-Technologie benutzt. Sie beschreibt einen Messtechnikstandard, in dem die Sensoren mit Funk an einem Gateway angebunden sind. Dieses Gateway verwaltet die Sensoren und übernimmt die Kommunikation und das Senden der Messdaten an einen Server mit Messdatenbank.

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für einen solchen Aufbau. In der linken oberen Ecke ist ein Raumfühler zu sehen, der so in den Wohnungen verbaut wurde. Rechts oben ist der

Außenfühler und rechts unten der Temperatur- und Feuchtefühler zu sehen, der in den Keller-
räumen installiert ist.

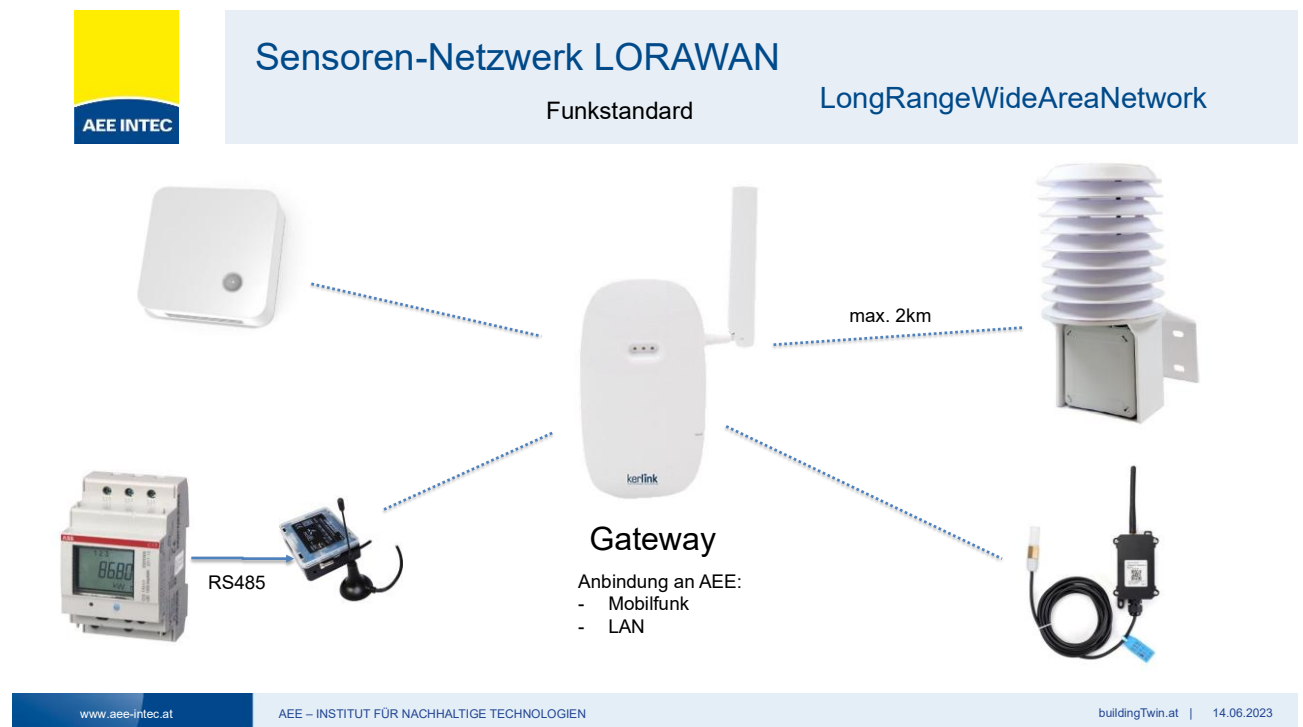


Abbildung 26: LoRaWAN Beispielabbildung

Die Behaglichkeitssensoren übertragen ihre Messwerte in einem Intervall von fünf Minuten an das Gateway. Die Stromsensoren übermitteln den Mittelwert ihrer gemessenen Leistung und die Energiewerte in einem Intervall von zehn Minuten an das Gateway.

3.3.2 CO₂-Messungen

In den Wohnzimmern beider Gebäude wurde zusätzlich der Kohlendioxidgehalt der Luft gemessen.

Der Sensor besitzt folgende Spezifikationen:

- Bereich, kalibriert: 0 - 2000 ppm
- Bereich, erweitert: 0 - 10000ppm
- Genauigkeit, kalibriert: ± 50 ppm / ± 3 % des Messwerts
- Genauigkeit, erweitert: ± 10 % des Messwerts

Der CO₂-Sensor ist mit einer internen automatischen Kalibrieroutine ausgestattet, die eine Kalibrierung auf den niedrigsten innerhalb der letzten acht Tage gemessenen Wert vornimmt. Bei der Interpretation der gemessenen Werte ist dieser Umstand zu berücksichtigen. Die automatische Kalibrierung ist nur dann zielführend, wenn der Sensor über einen Zeitraum von acht Tagen mindestens einmal einer frischen (gut belüfteten) Luft ausgesetzt war.

3.4 Messzeitraum und Datenausfälle

Für die vorliegende Auswertung wurde der Zeitraum von 01.06.2024 bis zum 31. Mai 2025 ausgewählt. Dieser Zeitraum entspricht dem ersten Betriebsjahr nach Sanierung.

Detailliertere Analysen der energetischen Performance und der thermischen Behaglichkeit für die Heizperiode werden für die kälteste Winterwoche vom 13. Januar bis zum 19. Januar 2025 durchgeführt. Zur Analyse der sommerlichen Behaglichkeit wird die wärmste Sommerwoche vom 12. August 2024 bis zum 18. August 2024 herangezogen.

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

- Der gravierendste Datenausfall trat in der Siemens-MSR im kleinen Gebäude auf: wegen einer Serverumstellung wurden zwischen dem 04.12.24 und dem 13.03.25 keine Daten aufgezeichnet.
- Daten für den Haushaltsstrom liegen für das große Gebäude erst ab dem 24.07.2024 vor, für das kleine ab dem 27.07.2024.
- Ein Gateway war temporär nicht ansprechbar und musste ausgetauscht werden.
- Zwei Mieter in Haus 12a demontierten im Dezember 2022 im großen Gebäude trotz schriftlicher Zustimmung alle Monitoring-Einrichtungen in ihren Wohnungen. Für diese Wohnungen liegen daher keine Daten zur Behaglichkeit vor.
- Der Wärmemengenzähler im Solekreislauf der Wärmepumpe in Haus 19 wurde vom Installateur erst im Sommer 2025 nachgerüstet.
- Der Wärmemengenzähler zwischen WP und Speichern in Haus 19 wurde vom Installateur falsch herum eingebaut. Der Fehler wurde erst im Sommer 2025 behoben.

Insgesamt beeinträchtigen diese Unterbrechungen die Auswertungen für Haus 12a nicht oder haben nur einen geringen Einfluss.

Die Datenlage für Haus 19 ist – v.A. wegen des kompletten, mehr als dreimonatigen Datenverlusts der Siemens-MSR während der Heizperiode - deutlich schlechter.

4 Wetterdaten

Als Grundlage der Interpretation der Energieverbräuche und der thermischen Behaglichkeit in den sanierten Gebäuden werden nachfolgend die Wetterdaten für den Gesamtzeitraum sowie für die kälteste Winter- und die wärmste Sommerwoche dargestellt.

4.1 Außenlufttemperatur und -feuchte

Abbildung 27 zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur für den Zeitraum vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 als Tagesmittelwerte.

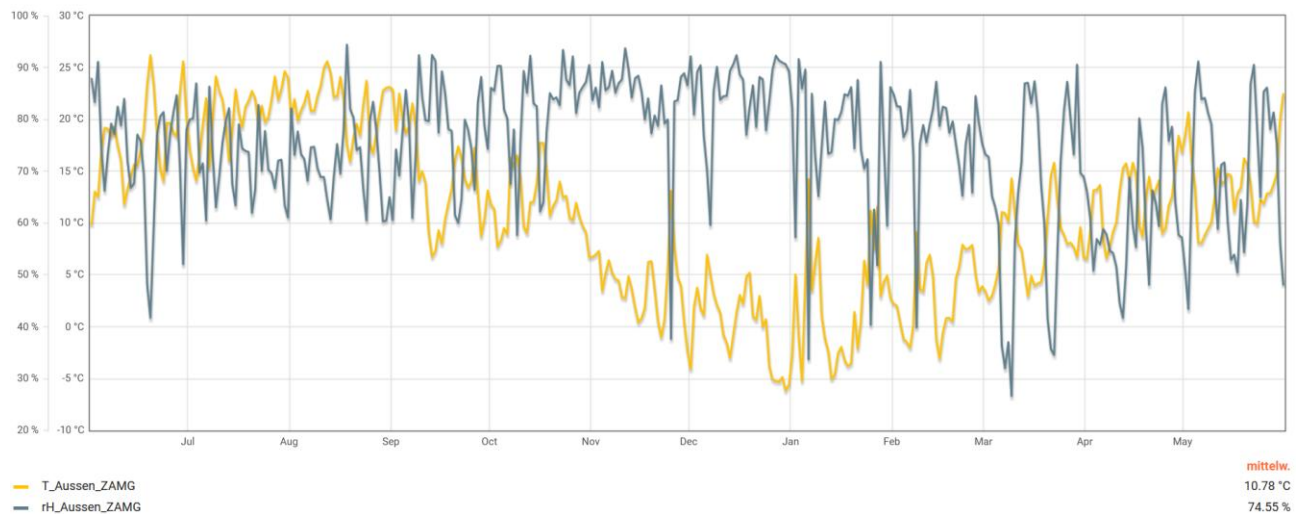


Abbildung 27: Außenlufttemperatur gesamter Zeitraum, Tagesmittelwerte

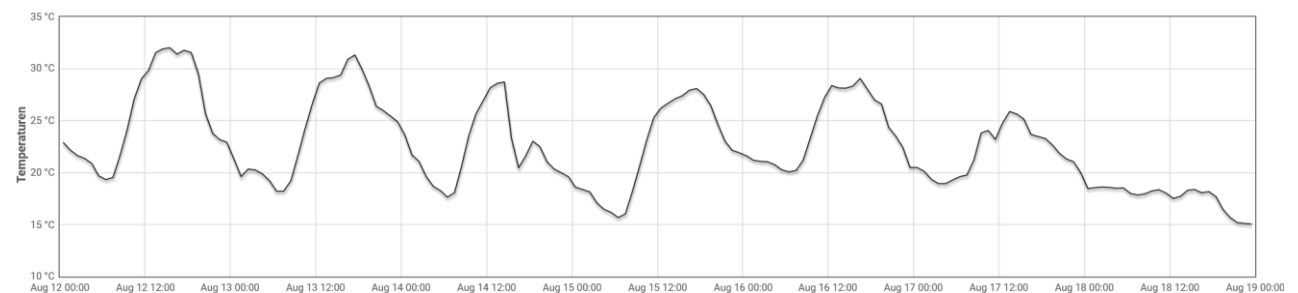


Abbildung 28: Außentemperatur in der wärmsten Sommerwoche; Stundenmittelwerte

In den Sommermonaten des untersuchten Messzeitraums traten im Vergleich zu vielen Jahren der unmittelbaren Vergangenheit keine extremen Temperaturen auf. Der maximale Tagesmittelwert liegt bei etwa 26°C. Der maximale Stundenmittelwert in der wärmsten Sommerwoche im August 2024 lag bei 32,02°C, das Halbstundenmaximum (nicht dargestellt) mit 32,23°C nur knapp höher.

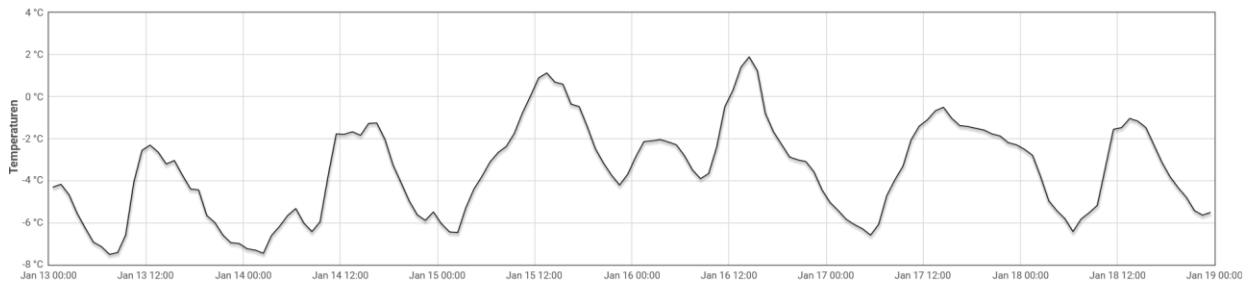


Abbildung 29: Außenlufttemperaturen kälteste Woche; Stundenmittelwerte

In den Wintermonaten des Messzeitraums traten keine extrem niedrigen Außenlufttemperaturen auf. Der minimale Tagesmittelwert liegt bei etwa -6°C , der minimale Stundenmittelwert bei $-7,5^{\circ}\text{C}$. In der dargestellten kältesten Winterwoche lag die Außenlufttemperatur bis auf wenige Stunden unter dem Gefrierpunkt.

Die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur im ersten Betriebsjahr sind in Tabelle 8 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.

Tabelle 8: Vergleich der Monatswerte der gemessenen Außenlufttemperatur mit den Werten nach Meteonorm v8.04 (Meteonorm Software, 2025)

Außenlufttemperatur in $^{\circ}\text{C}$	Messwerte	Meteonorm 8.04
Juni 24	17,8	18,0
Juli 24	20,5	19,0
Aug 24	21,2	18,6
Sep 24	14,3	14,5
Okt 24	11,9	10,7
Nov 24	4,0	5,5
Dez 24	0,1	1,7
Jan 24	2,0	0,5
Feb 24	3,1	1,9
Mar 24	7,8	6,0
Apr 24	12,1	10,3
Mai 24	13,6	14,2
Mittel Jahr	10,7	10,1
Mittel Okt bis März	4,8	4,4

Wie die Gegenüberstellung zeigt, wichen die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur im Messzeitraum um maximal $2,6^{\circ}\text{C}$ nach oben und um maximal $1,6^{\circ}\text{C}$ nach unten vom

langfristigen Mittel ab. Die Abweichung im Mittel des gesamten, einjährigen Messzeitraums betrug + 0,6°C. Die Temperaturabweichung im Mittel der Heizperiode (Monate Oktober bis März) lag bei + 0,4°C.

4.2 Solarstrahlung

Abbildung 30 zeigt den Verlauf der Globalstrahlung für den Zeitraum vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025. Dargestellt sind Tagesmittelwerte.

Gesamter Zeitraum:

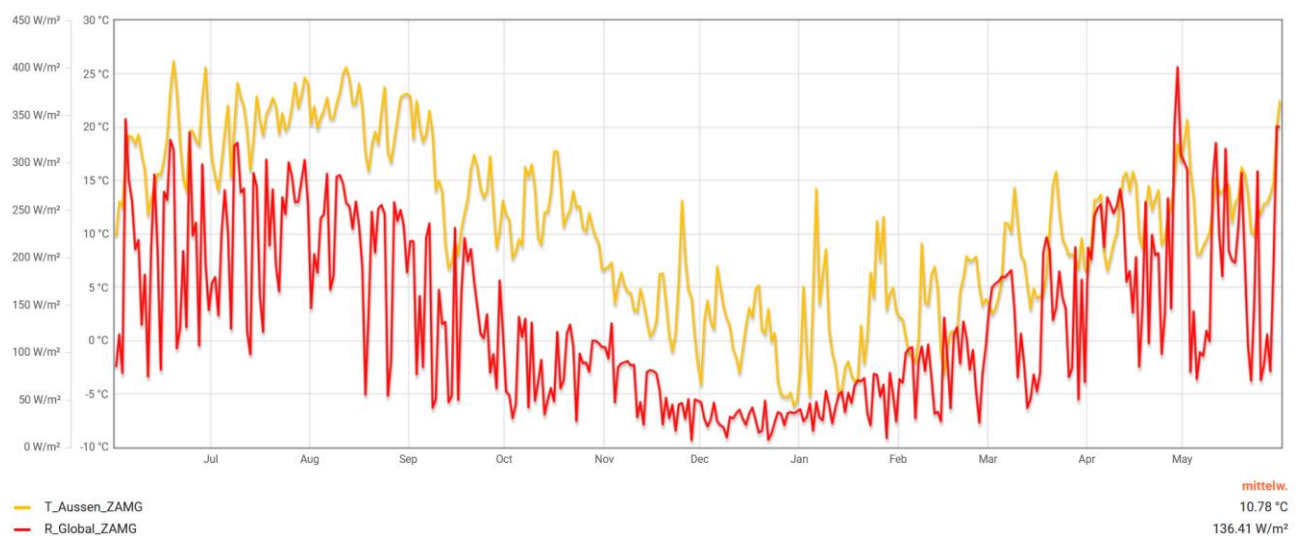


Abbildung 30: Solarstrahlung gesamter Zeitraum, Tagesmittelwerte

Wärmste Sommerwoche:

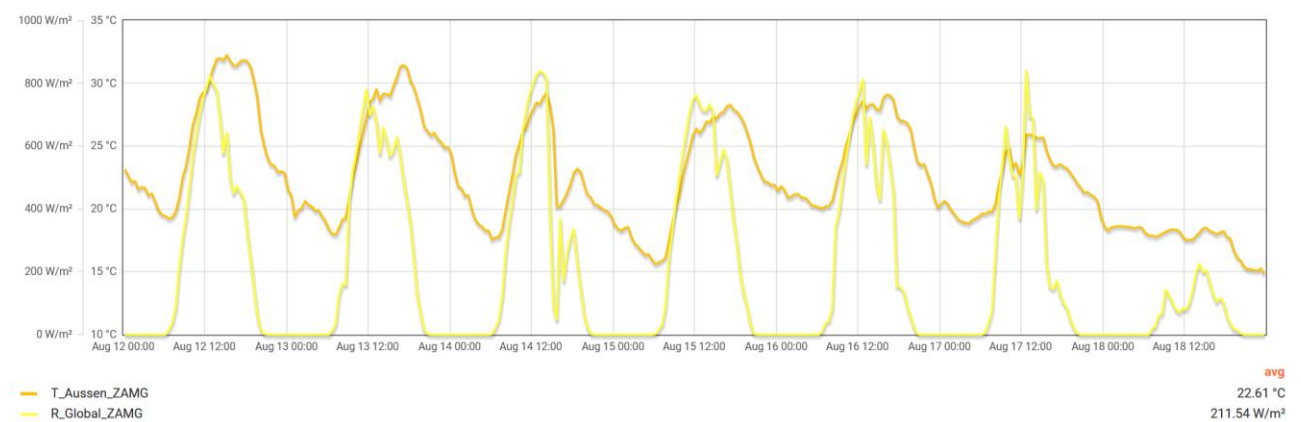


Abbildung 31: Solarstrahlung und Außenlufttemperatur wärmste Sommerwoche, Halbstundemittelwerte

Kälteste Winterwoche:

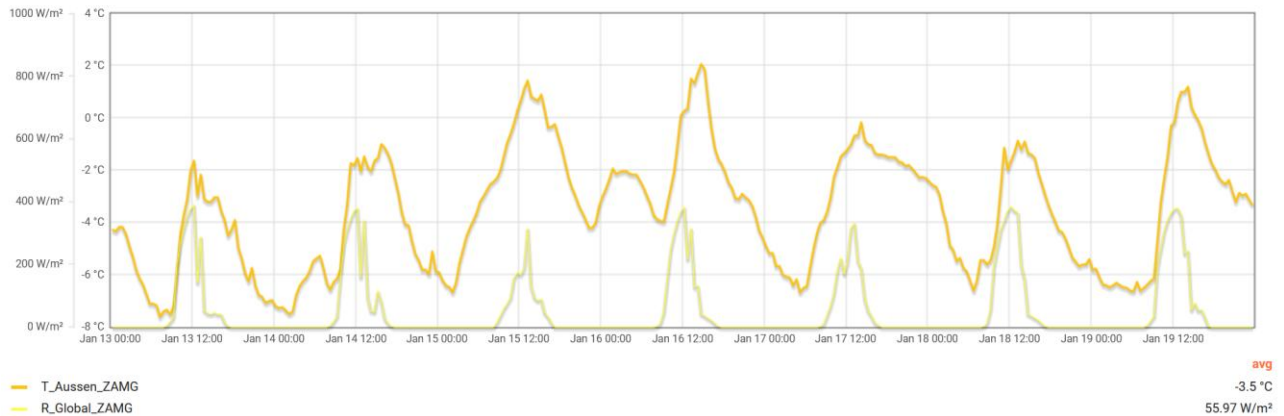


Abbildung 32: Solarstrahlung kälteste Winterwoche, Halbstundenmittelwerte

Die Monatsmittelwerte der Globalstrahlung im Messjahr sind in Tabelle 33 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.

Tabelle 9: Vergleich der Monatsmittelwerte der Globalstrahlung mit den Werten nach Meteonorm 8.0.4 (Meteonorm Software, 2025)

Globalstrahlung in kWh/(m ² Monat)	Messwerte	Meteonorm 8.04
Juni 24	149,9	150,0
Juli 24	172,4	149,0
Aug 24	159,6	129,0
Sep 24	102,9	95,0
Okt 24	62,2	64,0
Nov 24	45,6	34,0
Dez 24	22,5	26,0
Jan 24	35,7	34,0
Feb 24	62,5	52,0
Mar 24	100,8	95,0
Apr 24	160,4	122,0
Mai 24	139,6	141,0
Summe Jahr	1 214,1	1 091,0
Summe Okt bis März	329,4	305,0

Die Monatswerte der Globalstrahlung weichen um -13 bis + 34% von den langjährigen Mittelwerten ab. Der Wert für den gesamten Messzeitraum liegt um 11% über dem langjährigen Mittel, der Wert für die Heizperiode (Monate Oktober bis März) um 8%.

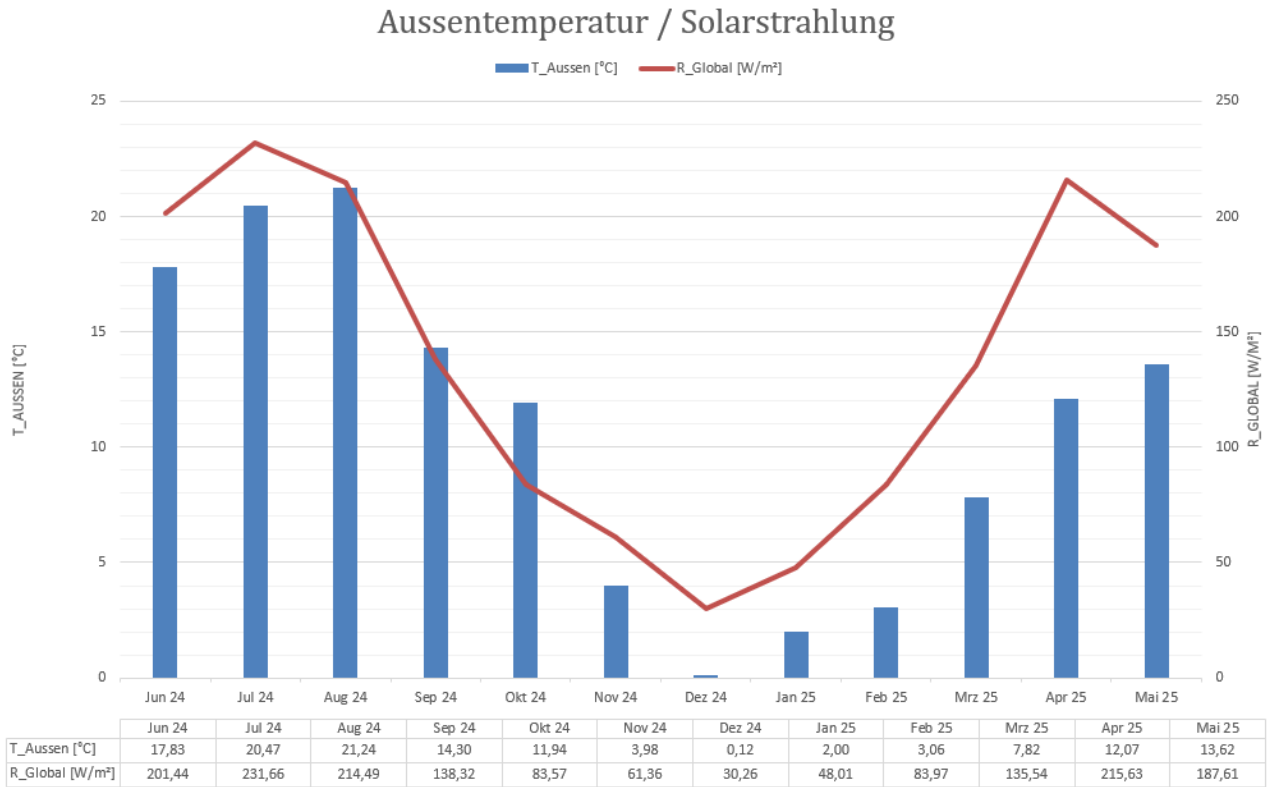


Abbildung 33: Monatsmittelwerte der Außentemperatur in °C und der Solarstrahlung in W/m²

5 Ergebnisse Haus 12a

5.1 Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität

Als Grundlage für die Einordnung der Energieverbrauchsdaten werden zunächst die Daten zum Nutzerverhalten, zur thermischen Behaglichkeit und zur Raumluftqualität sowie zum Kalt- und Warmwasserverbrauch dargestellt. Die Daten beziehen sich auf die mittlere Bewohneranzahl im Messzeitraum, die lt. Angaben der Alpenländischen bei 12 lag.

5.1.1 Raumlufttemperatur

Flächengewichtete Monatsmittelwerte

In der folgenden Tabelle sind die flächengewichteten Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen für die einzelnen Wohnungen dargestellt. Jeder Wert beschreibt das flächengewichtete Monatsmittel über alle drei aufgezeichneten Räume pro Wohnung (Wohnzimmer, Schlafzimmer, Bad). Neben den Monatswerten sind auch der Ganzjahres-Mittelwert und der Mittelwert für die Heizperiode – repräsentiert durch die Werte der Monate Oktober bis März - ausgewiesen.

Der letztgenannte Wert wird für den Vergleich der realen Verbräuche mit den in der Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Verbräuchen benötigt.

Tabelle 10: Haus 12a, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen pro Wohnung (Juni 2024 – Mai 2025)

Wohnung	Wohnfl. [m ²]	Temp [°C] Juni 24	Temp [°C] Juli 24	Temp [°C] Aug. 24	Temp [°C] Sept. 24	Temp [°C] Okt. 24	Temp [°C] Nov. 24	Temp [°C] Dez. 24	Temp [°C] Jan. 25	Temp [°C] Feb. 25	Temp [°C] März 25	Temp [°C] April 25	Temp [°C] Mai 25	Mittel Temp [°C] Juni 24-Mai 25	Mittel Temp [°C] Okt 24-März 25
Ahorn	57,5	24,5	25,7	26,5	24,1	23,7	22,5	23,1	23,6	23,8	23,5	23,6	23,8	24,0	23,4
Eiche	57,5	24,0	25,0	25,7	23,9	23,1	23,2	22,9	22,6	22,6	22,3	22,5	21,8	23,3	22,8
Erle	57,5	24,2	24,4	24,6	23,5	23,3	23,4	23,5	23,9	23,7	22,6	22,9	22,9	23,6	23,4
Esche	57,5	23,6	24,7	24,8	22,9	22,4	21,3	20,8	21,4	21,4	21,3	22,0	22,1	22,4	21,4
Fichte	57,5	24,9	26,0	26,1	24,4	23,8	23,7	24,0	24,4	24,4	24,0	23,7	23,7	24,4	24,1
Kastanie	57,5	24,8	26,1	26,5	24,3	23,4	23,0	23,2	23,6	23,5	23,3	23,3	23,3	24,0	23,3
Birke	57,5	23,0	24,4	25,0	22,8	22,3	22,0	16,5	21,5	22,0	21,6	21,7	20,9	22,0	21,0
Hainbuche	61,3	23,4	25,1	24,7	22,8	21,9	21,4	21,4	23,9	23,8	23,8	23,6	23,3	23,3	22,7
Ulme	61,1	22,6	23,9	24,9	22,5	20,3	19,8	19,0	23,0	22,1	22,2	22,3	21,2	22,0	21,1
Mittelwert		23,9	25,0	25,4	23,5	22,7	22,2	21,6	23,1	23,1	22,7	22,9	22,6	23,2	22,6

Der flächengewichtete Mittelwert aller Wohnungen über die gesamte, einjährige Messperiode beträgt 23,2 °C. Die Jahresmittelwerte der Raumlufttemperatur in den einzelnen Wohnungen variieren geringfügig und bewegen sich zwischen 22,0 °C und 24,4 °C.

Die folgende Abbildung zeigt die aufsteigend sortierten Mittelwerte der Wohnungen für die Heizperiode (Monate Oktober 24 bis März 25).

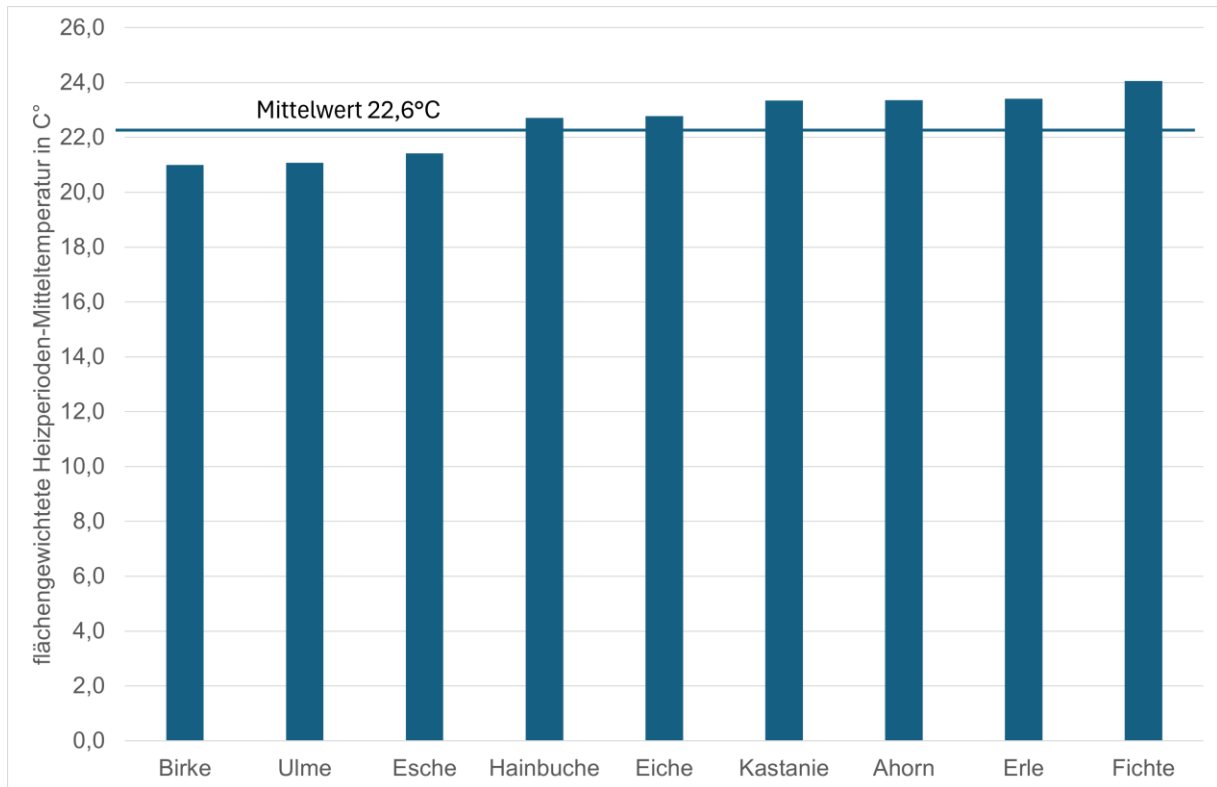


Abbildung 34: aufsteigend sortierte, flächengewichtete Heizperioden-Mittelwerte der Raumlufttemperatur, Haus 12a

Der flächengewichtete Mittelwert für die Heizperiode lag bei 22,6°C und entsprach damit fast exakt der Annahme von 22,5°C in der vorab durchgeführten PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung⁴. Die in der Verbrauchsprognoseberechnung verwendete Annahme für die mittlere Raumlufttemperatur 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 M. , 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 Wohnfühlttemperatur bei Winterbekleidung bei 23,2°C (Passipedia, 2025)

Die gemessene durchschnittliche Raumlufttemperatur nach Sanierung liegt während der Heizperiode um 4,7°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).

⁴ Da ein Bewohner trotz schriftlicher Einverständniserklärung die Messeinrichtungen demontierte und es in einer anderen Wohnung zu längeren Ausfallzeiten kam, sind die Raumlufttemperaturen nur für 9 der 11 Wohnungen dargestellt.

Die Mittelwerte der einzelnen Wohnungen liegen in der ersten Heizperiode nach Sanierung zwischen 21,1 und 24,1°C. Die mittlere Raumlufthtemperatur liegt in 10 von 11 Wohnungen höher als die in der Regelung hinterlegte Soll-Raumlufthtemperatur von 21°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 den zeitlichen Verlauf der Raumlufthtemperaturen in den Wohnzimmern des Gebäudes 12a vor und nach Sanierung dar. Da das Monitoring vor Sanierung nur 9 Monate umfasste, werden aus Gründen der Vergleichbarkeit auch die Ergebnisse des Monitorings nach Sanierung nur für 9 Monate (September bis Mai) dargestellt. Damit werden die Ergebnisse für den Hochsommer nicht dargestellt. Sie werden separat am Beispiel der wärmsten Sommerwoche analysiert.

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.

nach Sanierung (September 2024 – Mai 2025)

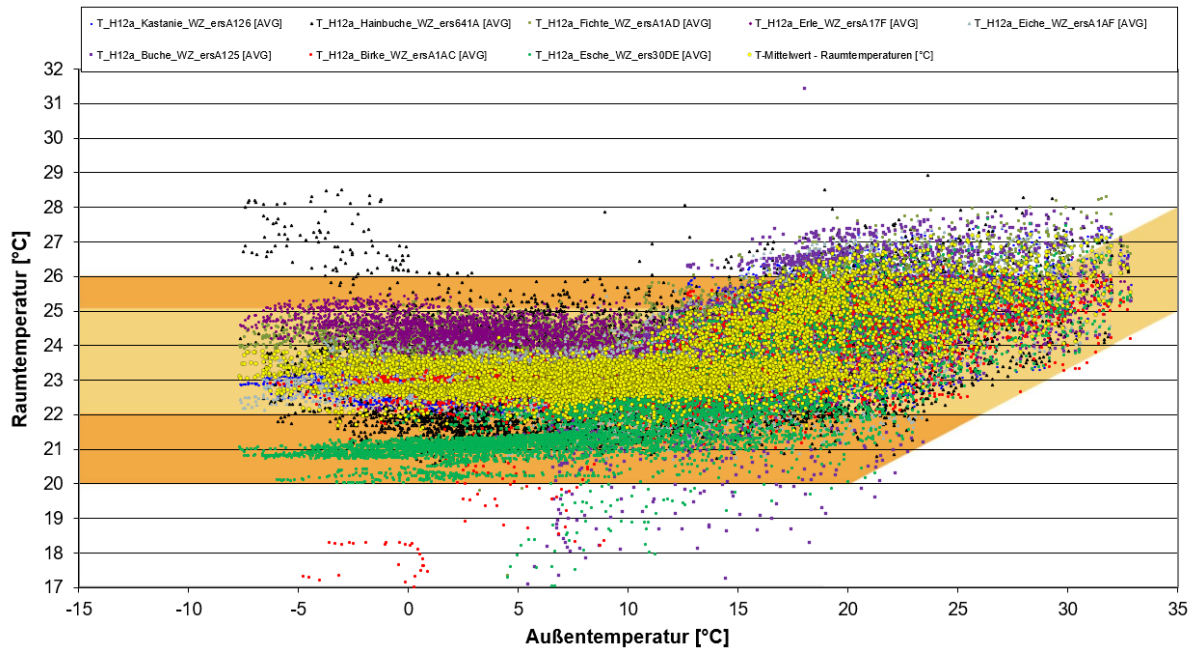


Abbildung 35: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 24 bis Mai 25, Stundenmittelwerte; (Deutsches Institut für Normung, 1994)

vor Sanierung (September 2022 bis Mai 2023)

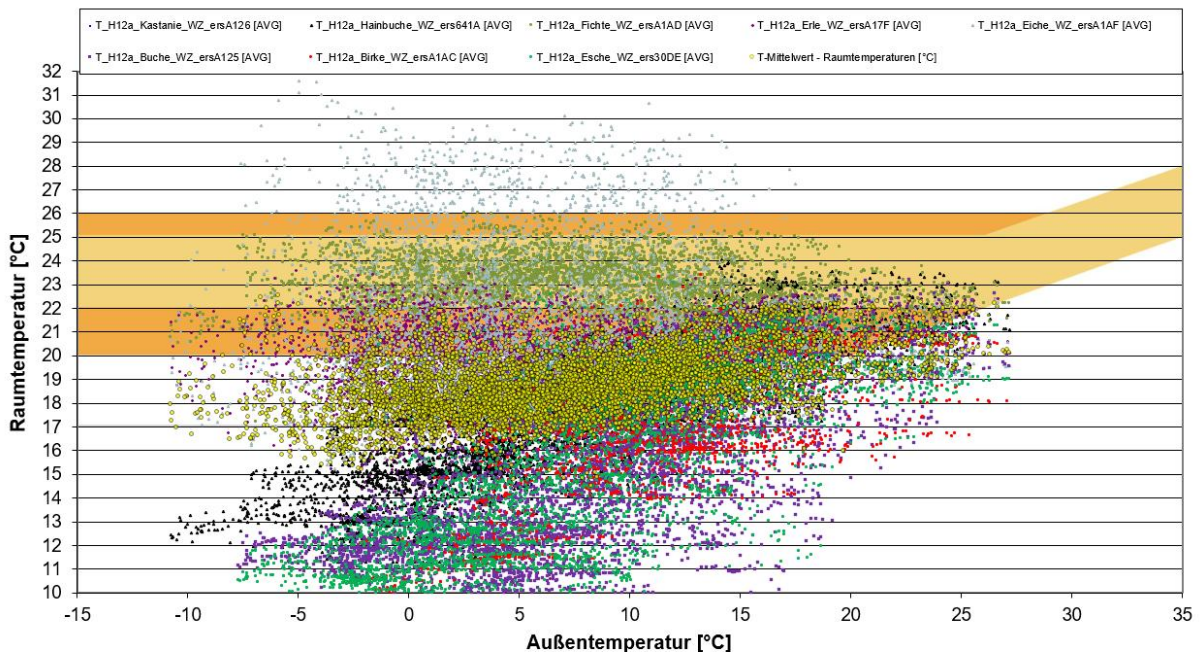


Abbildung 36: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Vor der Sanierung weisen die Temperaturverläufe im Winter eine ausgeprägte tageszeitliche Dynamik auf. Ein großer Anteil der Messwerte liegt 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 über den Tages- und Jahresverlauf hinweg. Raumlufttemperaturen unter 20°C treten nur sehr selten auf. Der Stundenmittelwert über alle Wohnzimmer-Raumlufttemperaturen ist zusätzlich als gelbe Punktwolke dargestellt.

Insgesamt bestätigt der Vergleich der beiden Abbildungen den 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 folgenden beiden Abbildungen zeigen die Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer der einzelnen Wohnungen während der kältesten Winterwoche sowie den Verlauf der Außenlufttemperatur.

H12a - Temperatur in °C - Wohnzimmer

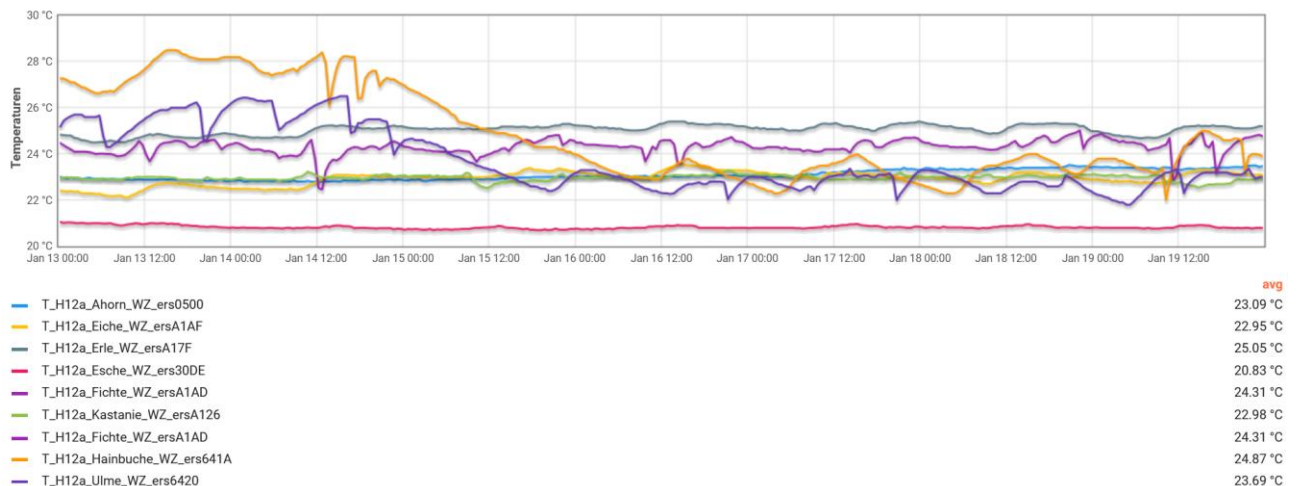


Abbildung 37: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte

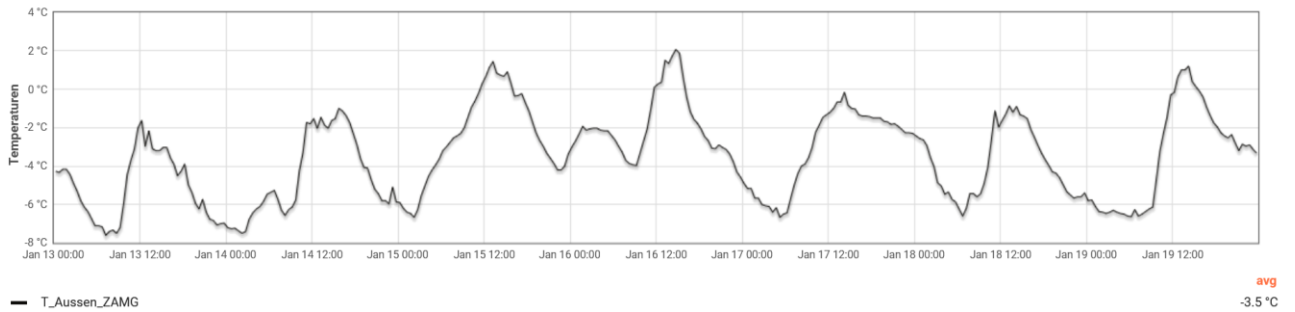


Abbildung 38: Außentemperatur während der kältesten Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte

Die Stundenmittelwerte der Außentemperaturen lagen in der kältesten Winterwoche bei minimal $-7,5^{\circ}\text{C}$ und fast durchgängig unter 0°C .

Die mittleren Raumlufttemperaturen von 10 der 11 Wohnungen lagen über dem in der Regelung hinterlegten Sollwert von $21^{\circ}\text{C} \pm 3\text{K}$. Lediglich der Wert der Wohnung Esche lag mit $20,83^{\circ}$ knapp niedriger. Ob die im Vergleich zu den anderen Wohnungen etwas niedrigere Mitteltemperatur von den Bewohnern an den Raumthermostaten so gewählt wurde, wird im Monitoring des zweiten Jahres untersucht. Dazu wurden die Einstellungen der Raumtemperaturregler in den Wohnungen in die MSR aufgeschaltet.

Insbesondere die beiden Dachgeschosswohnungen "Hainbuche", orange dargestellt, und "Ulme" (lila) sowie Erle weisen in der ersten Hälfte der Woche ein überdurchschnittliches Temperaturniveau auf. Mehrere schnelle Temperaturabfälle in Wohnung Erle vom 13.01. bis zum 15.01.25 deuten darauf hin, dass die Wärme weggelüftet wurde. Ähnliches gilt auch für die Wohnung Hainbuche am 14.01.25 mit noch höheren Temperaturen.

Raumlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche

H12a - Temperatur in °C - Wohnzimmer

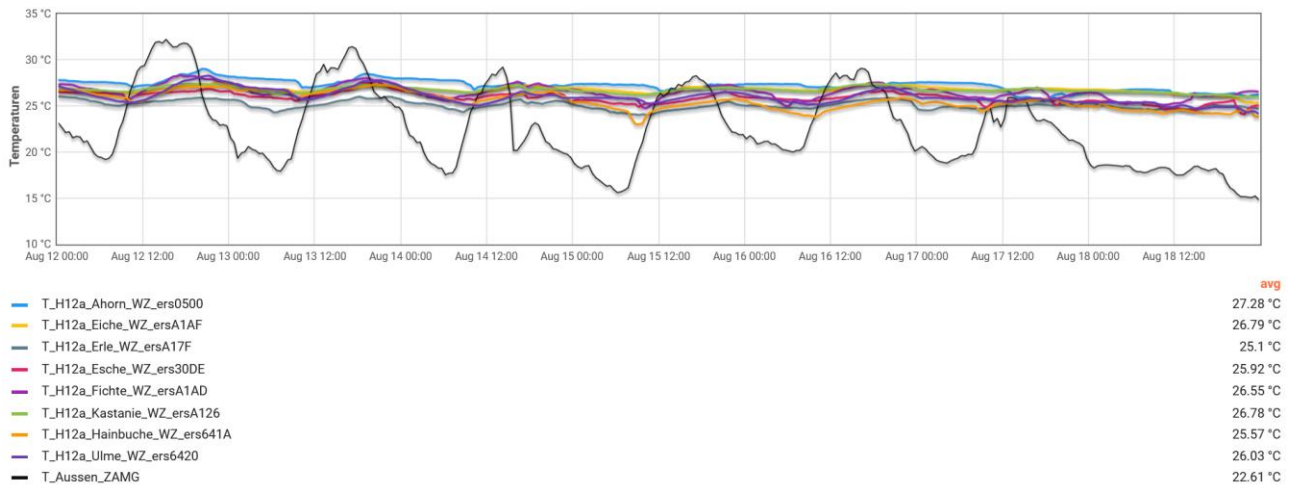


Abbildung 39: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste Sommerwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte

In der wärmsten Sommerwoche mit Stundenmittelwerten der Außenlufttemperatur bis über 32°C lagen die mittleren Stundenwerte der Temperaturen in den Wohnzimmern zwischen 25,1 und 27,3°C. Extreme Ausreißer oder Überhitzungsspitzen sind nicht erkennbar.

Trotz tageszeitlich bedingter Außentemperaturschwankungen (schwarze Kurve – nachts teils bis 15 °C) zeigen sich in den Wohnzimmern nur geringe Unterschiede zwischen Tag- und Nachttemperaturen. Die gemessenen Raumtemperaturen liegen konstant im Bereich von 24 °C bis 28 °C, mit Tagesamplituden meist unter 2 K. Dies spricht dafür, dass das Potential der Nachtlüftung nicht vollständig ausgenutzt wird.

Die Ergebnisse sprechen für eine wirksame sommerliche thermische Stabilität der sanierten Gebäude.

Einfluss der Globalstrahlung auf die Raumlufthtemperatur

H12a - Temperatur in °C - Wohnzimmer

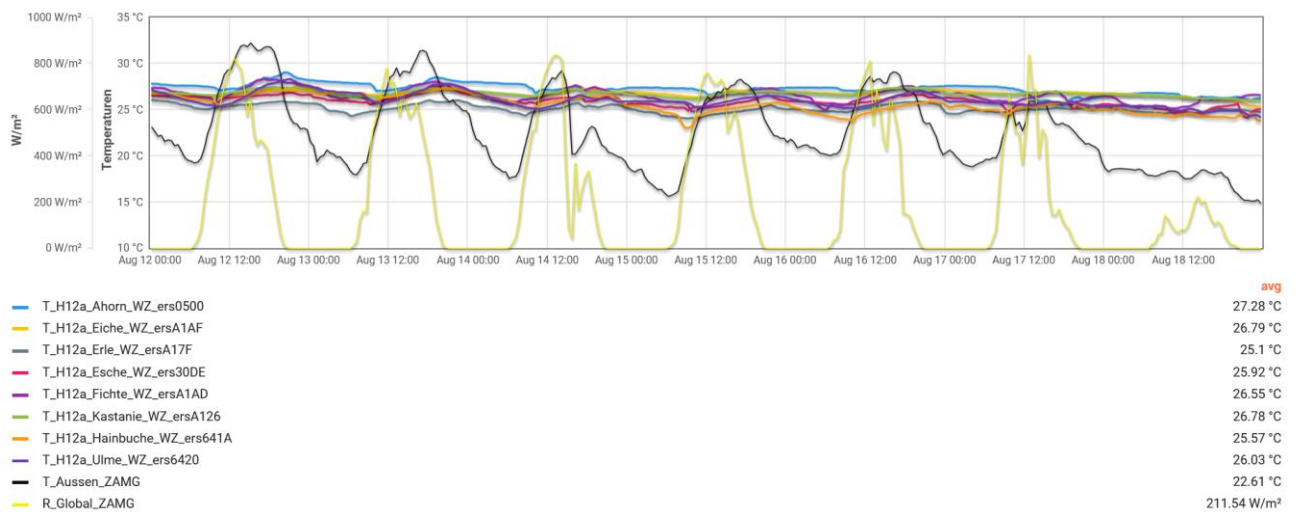


Abbildung 40: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen und Globalstrahlung, wärmster Sommerwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte

In der Abbildung ist zusätzlich die Globalstrahlung in hellgelber Farbe dargestellt. Bereits im Bericht zum Monitoring vor Sanierung (Wörl, 2024) wurde festgestellt, dass die Globalstrahlung aufgrund kleiner Fensterflächen und der Gebäudeausrichtung nur eine untergeordnete Rolle für die Raumlufthtemperatur spielt. Dies gilt auch nach Sanierung.

Raumlufthtemperatur in der kältesten Winterwoche – vor und nach 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 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 der Zeitraum vom 13.01.2025 bis zum 19.01.2025.

Die Temperaturverläufe in den betrachteten Winterwochen waren ähnlich.

Vor Sanierung:

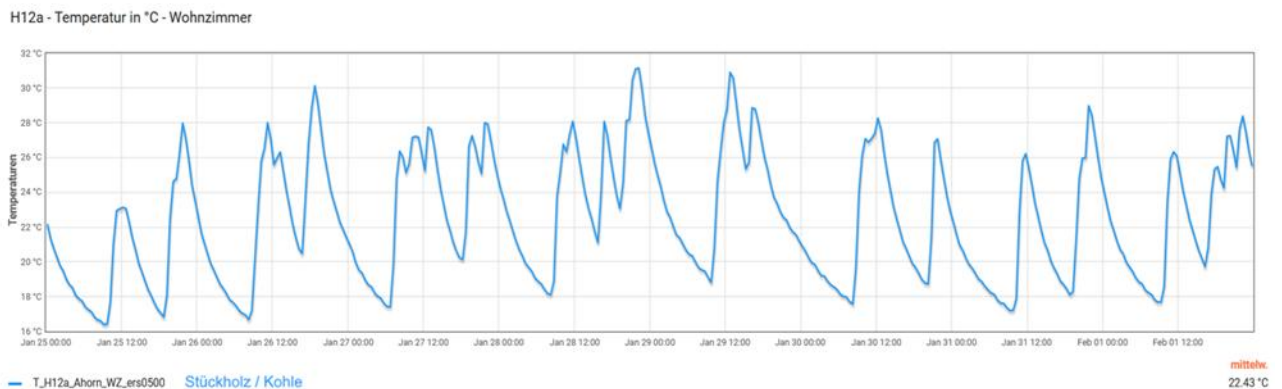


Abbildung 41: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperatur kälteste Winterwoche vor Sanierung, Stundenmittelwerte

Nach Sanierung:

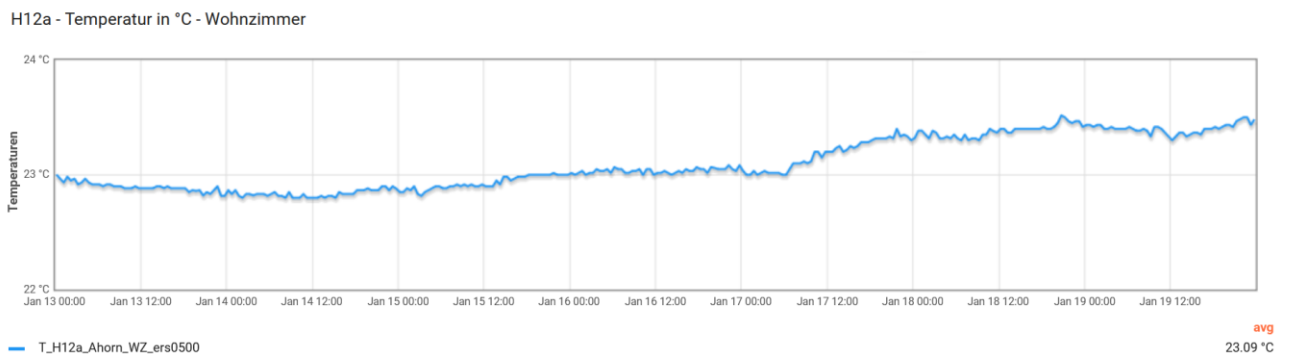


Abbildung 42: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperatur kälteste Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte

Vor der Sanierung stiegen die Temperaturen nach Anheizen des Einzelofens auf bis zu 31°C und fielen aufgrund des sehr schlechten Wärmeschutzes des Gebäudes im Laufe der Nacht um bis zu 12°C. Nach der Sanierung zeigt sich ein sehr gleichmäßiger Temperaturverlauf: Aufgrund der gleichmäßigeren Wärmeabgabe über das Wandheizsystems, des sehr guten Wärmeschutzes der Gebäudehülle sowie die durch die Komfortlüftung reduzierten Lüftungswärmeverluste schwankt die Raumlufttemperatur um deutlich weniger als 1°C.

Temperaturen in den temperaturkritischen Räumen in der Winterzeit

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 als Spitzenlastheizung benötigt werden und leicht nachrüstbar sind.

Die beiden Wohnungen im Erdgeschoss sind für die Analyse der Behaglichkeit in der kältesten Winterwoche daher sehr interessant. Deshalb wurden die Temperaturen dieser beiden Wohnungen sowie die Außentemperatur für die kälteste Woche ausgewertet.

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

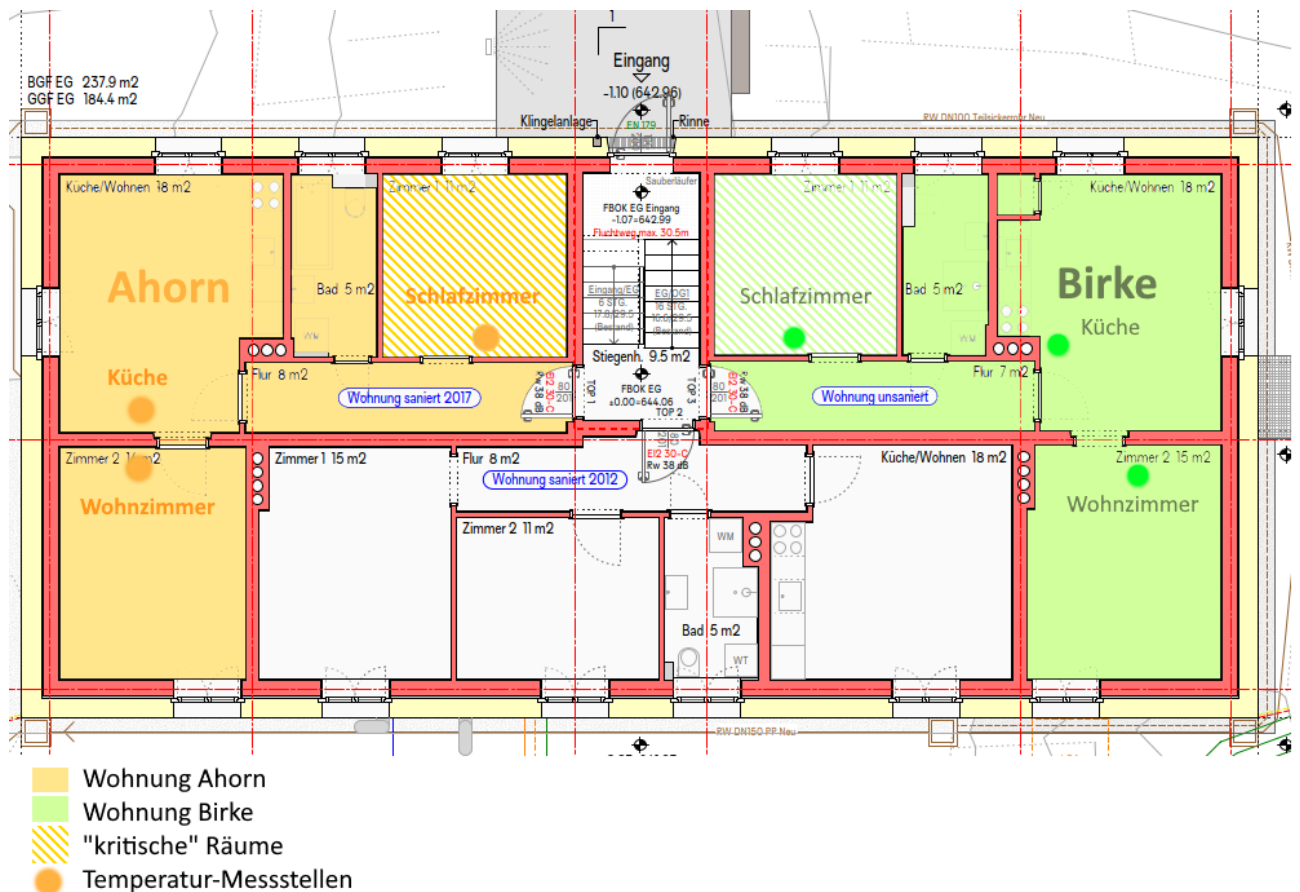


Abbildung 43: Haus 12a: Messstellen temperaturkritische Räume

Wohnung Ahorn:

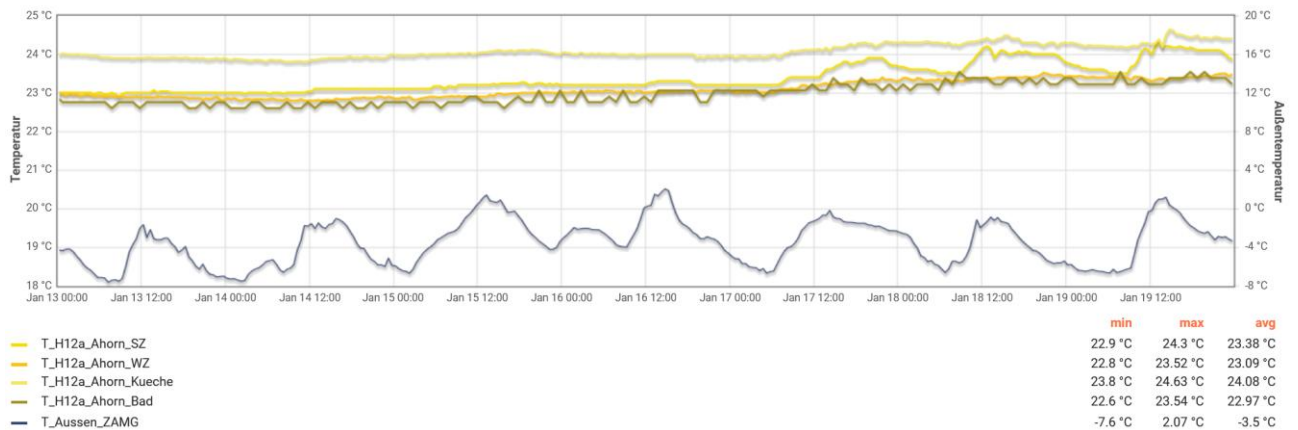


Abbildung 44: Haus 12a, Ahorn, Raumlufttemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte

Die Raumtemperatur in der Wohnung Ahorn ist konstant und liegt bei etwa 23 bis 24 °C. Das Bad und das Schlafzimmer weisen eine ähnliche Temperatur auf wie die beiden anderen Räume.

Wohnung Birke:

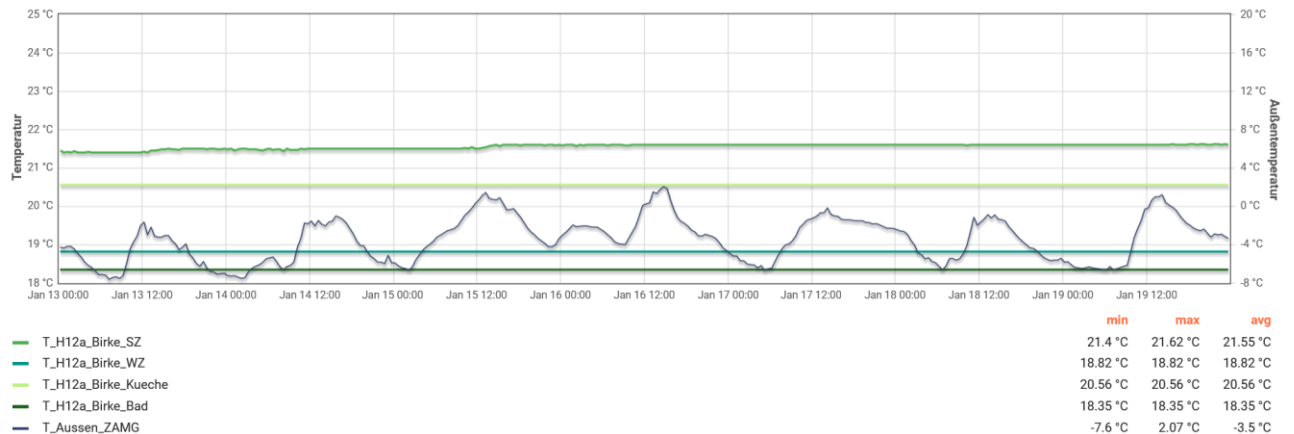


Abbildung 45: Haus 12a, Birke, Raumlufttemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte

In der Wohnung Birke ist das Bad mit durchschnittlich 18,35°C der kälteste Raum. Das Schlafzimmer hingegen weist eine mittlere Temperatur von 21,55°C auf. Das Wohnzimmer ist mit einer durchschnittlichen Temperatur von 18,82 °C deutlich kühler.

Ein Grund für die niedrigen Temperaturen ist, dass die Wohnung in der kältesten Woche nicht bewohnt war – dies kann daraus geschlossen werden, dass in der gesamten Woche kein Kaltwasserverbrauch verzeichnet wurde. Da die Einstellungen der Raumtemperaturregler im

Messzeitraum nicht aufgezeichnet wurden, ist nicht bekannt, auf welchen Sollwert die Bewohner die Heizung in den einzelnen Räumen eingestellt hatten.

Inzwischen wurden die Einstellungen der Raumtemperaturregler in das Monitoring eingebunden, so dass für das zweite Messjahr detailliertere Analysen möglich sein werden.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass auch die Temperatur in den Schlafzimmern mit der Wandheizung im gewünschten Bereich gehalten werden können. Das Bad in der Wohnung Ahorn war auch ohne IR-Paneel, also nur mit indirekter Beheizung über die Nachbarräume warm genug.

Die folgende Abbildung zeigt zur Vollständigkeit die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des gemeinsamen Wohnungsverteilers in der Winterwoche. Die Temperaturen direkt an den Außenwandheizschleifen wird nicht gemessen.

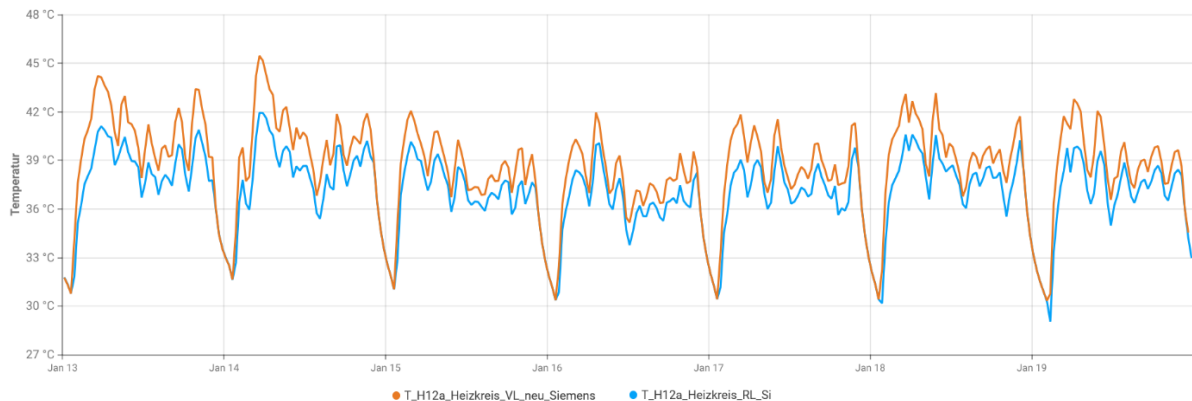


Abbildung 46: Haus 12a, Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Heizkreises nach dem Mischer und vor den Wohnungsverteilern

Fazit:

Die Regelung der Heizkreis-Vorlauftemperatur nach der vorgegebenen Heizkurve funktioniert gut und auch die kritischen Räume werden genügend erwärmt.

5.1.2 Raumlufffeuchte

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

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 Juni 2024 bis Mai 2025 (nach Sanierung) und September 2022 bis Mai 2023 (vor Sanierung).

Nach Sanierung:

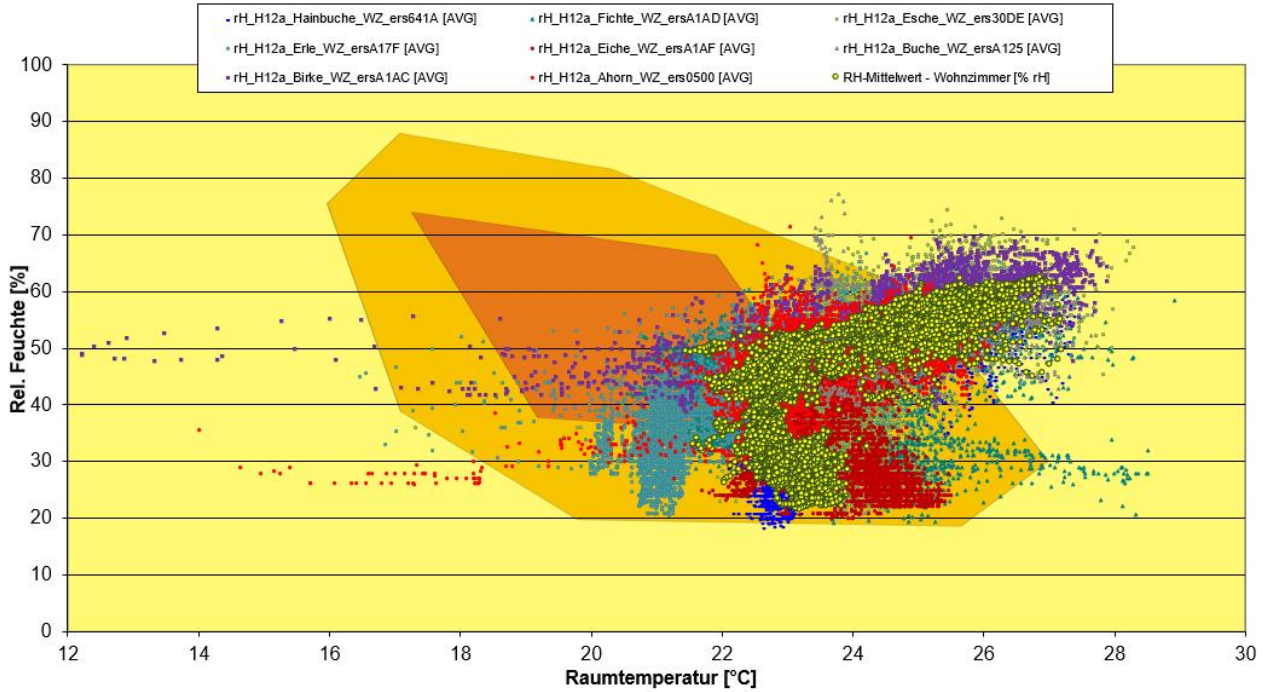


Abbildung 47: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Stundenmittelwerte

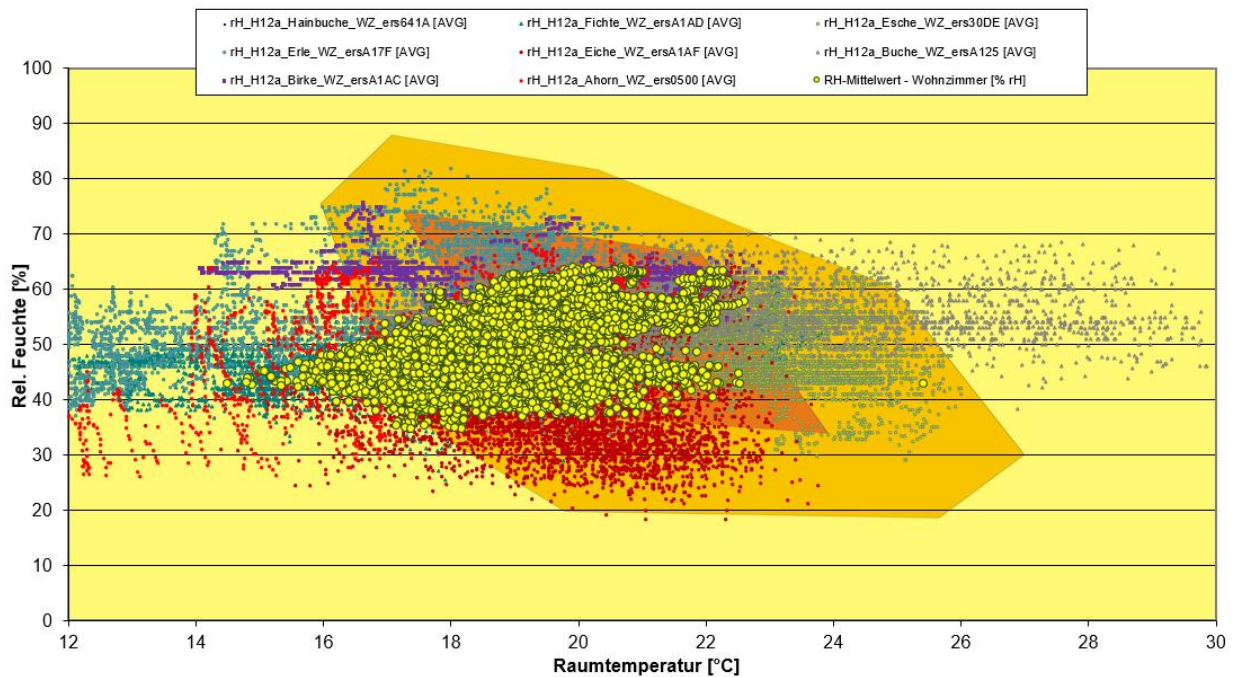
Vor Sanierung:

Abbildung 48: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte

Nach der Sanierung zeigt sich ein deutlich homogeneres und stabileres Raumklima: Die Raumtemperaturen bewegen sich nun weitgehend zwischen 22 °C und 26 °C, die relative Feuchte meist im Bereich von 35 % bis 55 %, Werte über 70% treten sehr selten auf. Allerdings liegt die relative Feuchte nach Sanierung häufiger unter 30%. Dies ist auf die vergleichsweise hohen Raumlufttemperaturen im Winter und auf den kontinuierlichen Luftwechsel über die Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und ohne Enthalpietauscher zurückzuführen. Wie die Auswertung der CO₂-Konzentration in den Wohnungen zeigt (Kapitel 5.1.3), ist die Luftqualität in einem hervorragenden Bereich. Auch nach einer leichten Reduktion der Luftvolumina lägen die CO₂-Konzentrationen noch in einem sehr guten Bereich von unter 1.000 ppm. Die relative Feuchte würde bei niedrigerem Luftvolumenstrom seltener im Bereich von unter 30% liegen.

Der Großteil der Stundenmittel liegt im komfortablen Bereich für Wohnräume. Extremwerte – wie sehr hohe Luftfeuchte oder stark schwankende Temperaturen – treten praktisch nicht mehr auf.

Im Vergleich dazu zeigt sich vor der Sanierung eine deutlich breitere Streuung: Die Raumtemperaturen lagen oft zwischen 16 °C und 23 °C, mit Ausreißern darunter. Gleichzeitig traten

hohe Luftfeuchten bis über 80 % auf – insbesondere in Wohnungen mit unzureichender Beheizung.

Der Zusammenhang zwischen niedrigen Temperaturen und erhöhter Feuchte deutet auf thermisch unterversorgte Räume mit Feuchteproblemen hin – typische Symptome unsanierter Gebäude mit dezentralen und ineffizienten Heizlösungen.

Durch die Sanierung konnten sowohl Raumtemperatur als auch Luftfeuchte der Wohnungen signifikant stabilisiert werden. Die Daten belegen eine klare Verbesserung der thermischen Behaglichkeit und eine Verringerung des Schimmelrisikos aufgrund zu hoher Feuchtigkeiten an kritischen Oberflächen.

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.

Die folgende Grafik zeigt die Temperatur- und Feuchteverläufe im Keller von Haus 12a sowie die entsprechenden Außenklimadaten für die kälteste Winterwoche im Januar 2025.

Winterwoche

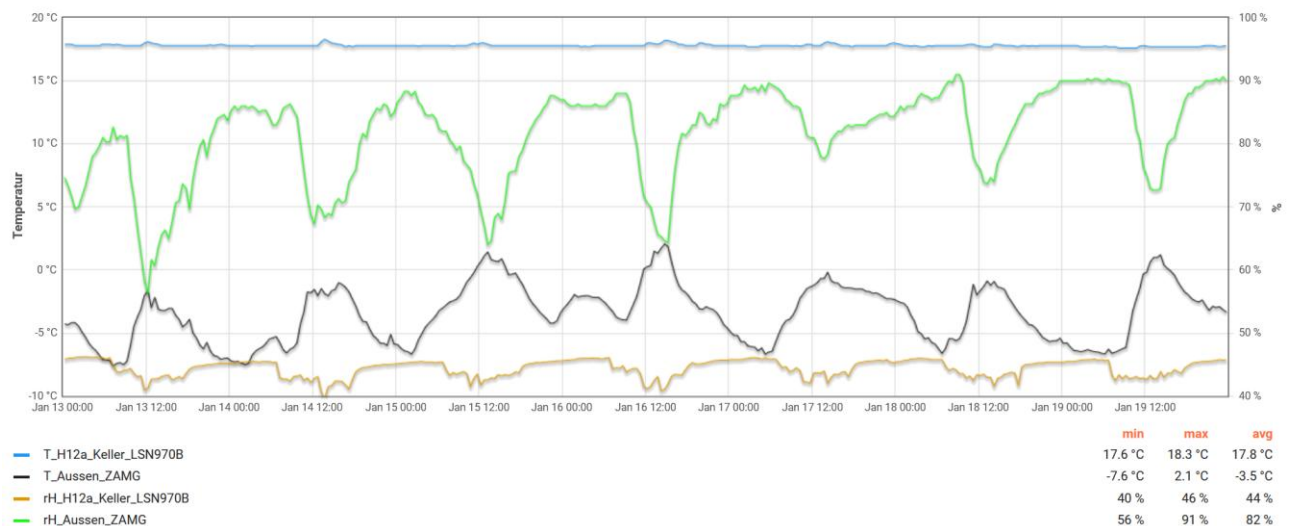


Abbildung 49: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte

Die Kellertemperatur (blaue Linie) bleibt während des gesamten Zeitraums stabil (Durchschnitt: 17,8 °C) – nahezu unbeeinflusst von den stark schwankenden Außentemperaturen

(schwarze Linie), die zwischen -8 °C und $+2\text{ °C}$ liegen. Die mittlere Kellertemperatur während der Heizperiode liegt bei $17,5\text{ °C}$. Der Raumtemperatursensor liegt in einem Kellerbereich, der nicht an den Haustechnikraum grenzt und Abwärme nur von den Heizkreisverteiltern erhält.

Auch die relative Luftfeuchte im Keller zeigt sich mit 44% im Mittel (Spannweite: $40\text{--}46\%$) sehr konstant und liegt deutlich unter den Außenwerten (Mittelwert: 82%).

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

Sommerwoche

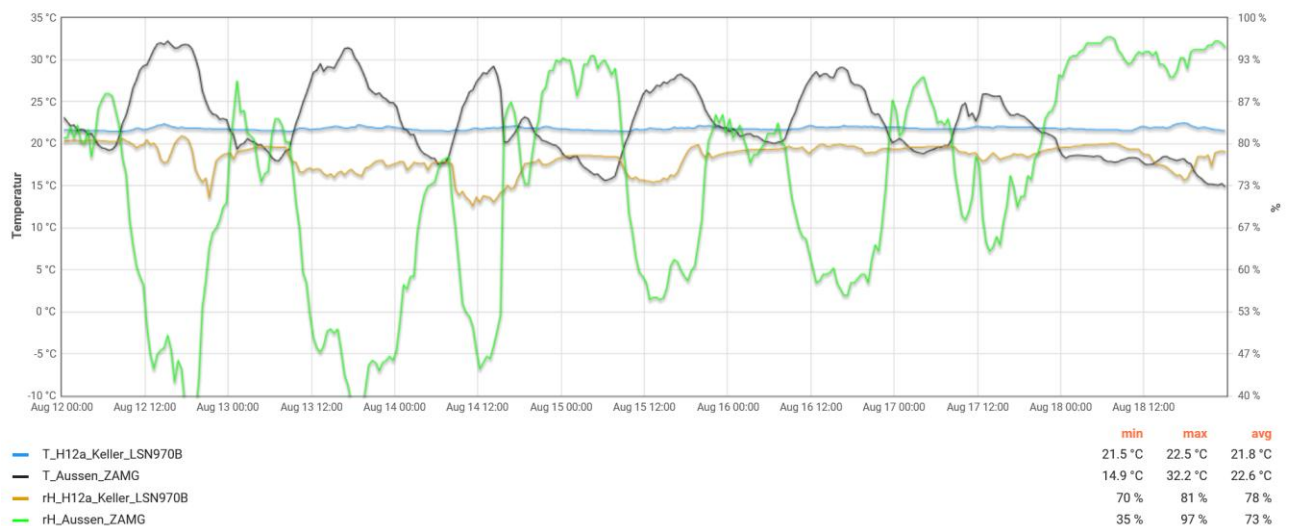


Abbildung 50: Haus 12a, Raumluffttemperatur und rel. Feuchte im Keller, wärmste Sommerwoche Aug 2024, Halbstundenmittelwerte

Die Grafik zeigt Temperatur- und Feuchteverläufe im Keller von Haus 12a im Vergleich zur Außenluft während der wärmsten Sommerwoche. Die Kellertemperatur ist mit $21,5\text{--}22,5\text{ °C}$ stabil (blaue Kurve) und liegt damit meist unter der Außentemperatur, die im Verlauf der Woche zwischen ca. 15 °C und etwas mehr als 32 °C schwankt (Mittelwert: $22,6\text{ °C}$).

Bei der relativen Luftfeuchte zeigt sich ein ähnliches Bild: Im Keller liegt die relative Feuchte konstant zwischen 70% und 80% , während die der Außenluft stark schwankt – zwischen 35% und 95% ($\varnothing 73\%$).

Da alle Außenbauteile sehr gut gedämmt sind, liegen die inneren Oberflächentemperaturen nahe der Raumlufthtemperatur. Damit ist das Risiko für Oberflächenkondensation gering. Die begrenzten Schwankungen im Keller belegen erneut eine sehr gute Entkopplung vom Außenklima.

5.1.3 Kohlendioxidgehalt der Luft in den Wohnzimmern

Die folgende Abbildung zeigt den Kohlendioxidgehalt der Raumlufthtemperatur in den Wohnzimmern während des Messzeitraums von Juni 2024 bis Mai 2025.

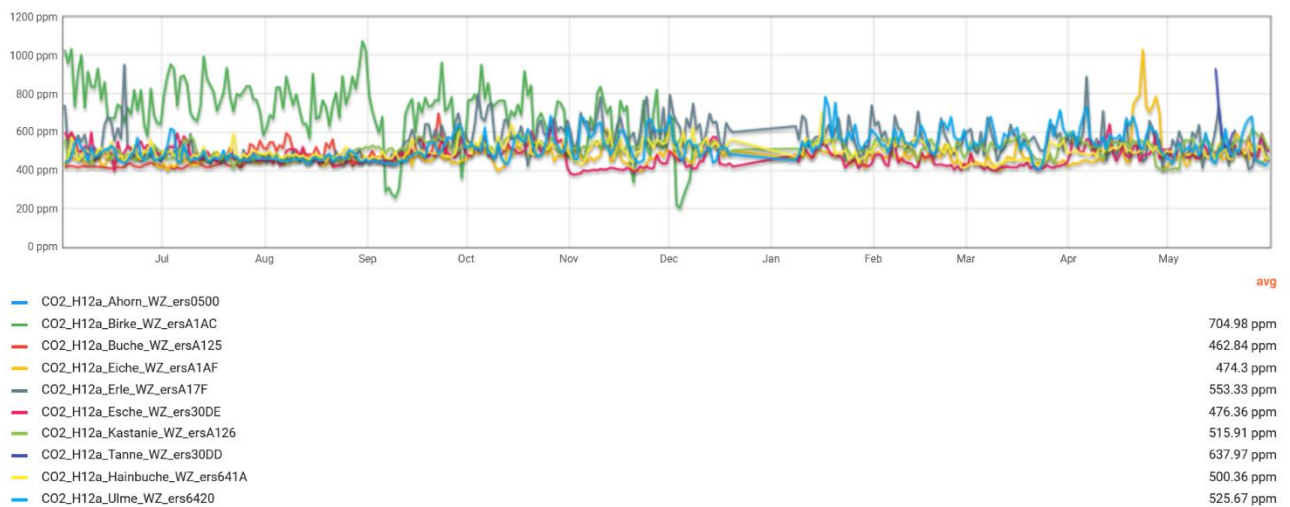


Abbildung 51: Haus 12a, CO₂-Konzentration in der Raumlufthtemperatur, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte

Die mittleren CO₂-Jahreswerte der einzelnen Wohnungen bewegen sich größtenteils zwischen 460 und 550 ppm. Damit liegen die meisten Wohnungen 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 30-Minuten-Mittelwerte dargestellt sind.

Winterwoche:

Die folgende Abbildung zeigt die CO₂-Konzentrationen in den Wohnzimmern von vier ausgewählten Wohnungen in Haus 12a während der kältesten Winterwoche.

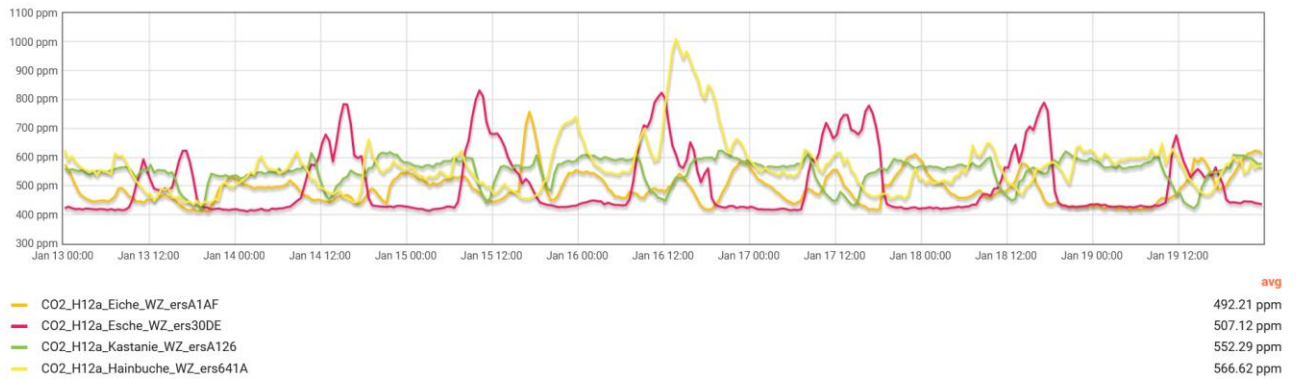


Abbildung 52: Haus 12a, CO₂-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Winterwoche, 30-Minuten-Mittelwerte

Der CO₂-Gehalt der Raumluft liegt in allen Wohnungen in einem Band zwischen etwa 450 und 700 ppm. In einer Wohnung werden kurzzeitige Spitzen von bis zu 800 ppm erreicht, in einer weiteren einmalig etwa 1.000 ppm. Diese Werte zeigen eine gute Luftqualität in den Wohnungen, die durch die bedarfsgerecht ausgelegte Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung gewährleistet wird. Auch nach einer geringfügigen Reduktion der Luftvolumenströme könnten Kohlendioxidkonzentrationen von unter 1.000 ppm (Grenzwert der Klasse A im Schlafraum nach ISO 16000-41) und damit sehr gute Werte erreicht werden. Die relative Feuchte würde dadurch seltener unter 30% fallen.

Sommerwoche:

Die folgende Abbildung zeigt die CO₂-Konzentrationen in den Wohnzimmern von vier ausgewählten Wohnungen in Haus 12a während der wärmsten Sommerwoche.

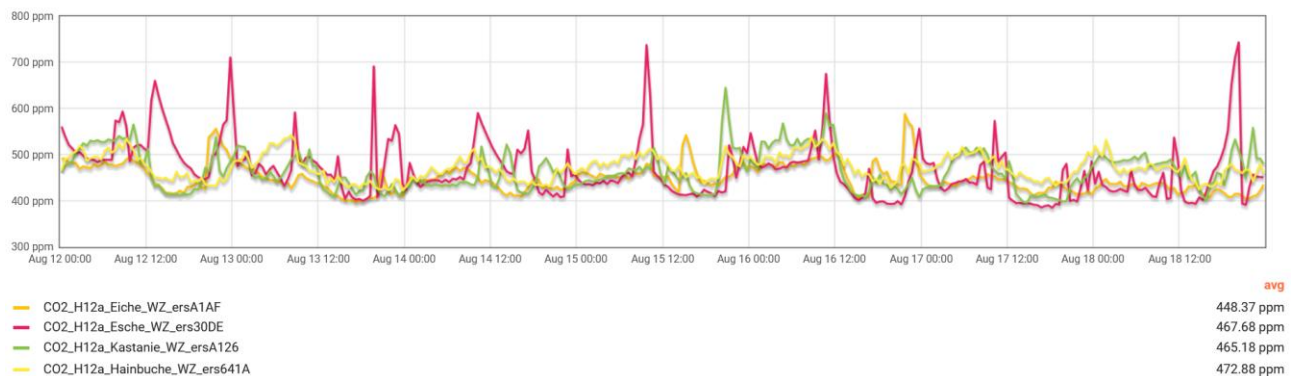


Abbildung 53: Haus 12a, CO₂-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Sommerwoche, 30-Minuten-Mittelwerte

Auch in der wärmsten Sommerwoche liegen die CO₂-Konzentrationen fast immer unter 600 ppm. In einer Wohnung treten kurzfristige Spitzen von maximal 650 bis 750 ppm auf. Die CO₂-Konzentration ist damit durchgängig niedrig. Ob dies ausschließlich auf den Luftaustausch

über die Komfortlüftung zurückzuführen ist oder ob und in welchem Ausmaß die Bewohner zusätzlich – etwa nachts - über die Fenster lüfteten, ist nicht ablesbar.

5.1.4 Kaltwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Kaltwasserverbrauch der Wohnungen.

Tabelle 11: Haus 12a, Kaltwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen

Kaltwasserverbrauch	Ahorn	Birke	Eiche	Erle	Esche	Fichte	Hainbuche	Kastanie	Tanne	Ulme	Summe / Mittel
in m ³ /Jahr	63,8	31,5	29,3	74,7	33,2	92,2	57,4	51,2	49,1	30,6	512,8
in Liter/Tag	174,7	86,3	80,2	204,6	90,9	252,5	157,2	140,2	134,4	83,9	1 405,0
mittlere Bewohnerzahl	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	11
in Liter / Person * Tag	174,7	86,3	80,2	102,3	90,9	252,5	157,2	140,2	134,4	83,9	127,7

Der mittlere pro-Kopf-Kaltwasserverbrauch der 10 Wohnungen, für die Daten verfügbar sind, liegt bei 127,7 Liter pro Person und Tag. Dieser Wert liegt knapp über 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 80 und 252 Liter pro Person und Tag.

5.1.5 Warmwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Warmwasserverbrauch der Wohnungen.

Tabelle 12: Haus 12a, Warmwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen

Warmwasserverbrauch	Ahorn	Birke	Eiche	Erle	Esche	Fichte	Hainbuche	Kastanie	Tanne	Ulme	Summe / Mittel
in m ³ /Jahr	37,3	6,8	3,5	29,2	13,5	13,4	23,9	13,2	13,9	6,8	161,4
in Liter/Tag	102,1	18,7	9,5	80,0	37,0	36,6	65,4	36,2	38,0	18,7	442,3
mittlere Bewohnerzahl	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	11
in Liter / Person * Tag	102,1	18,7	9,5	40,0	37,0	36,6	65,4	36,2	38,0	18,7	40,2

Der jährliche Warmwasserverbrauch in Summe der 10 Wohnungen, für die Daten vorliegen, liegt bei 161,4 m³/a. Bei 11 Bewohnern entspricht dies 40,2 Liter pro Person und Tag. Setzt man diesen Wert auch für die von einer Person belegte Wohnung an, für die kein Messwert vorliegt, so ergibt sich ein Warmwasserverbrauch von 176,1 m³/a.

Zum Vergleich des personenspezifischen Verbrauchs von 40,2 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 dieser Umrechnung ergibt sich ein personenspezifischer Verbrauch von 30,6 Liter pro Person und Tag an 60-gradigem Wasser. Dieser Wert liegt knapp unter dem in der

Verbrauchsprognoseberechnung verwendeten Wert von 32,5 Liter/Person pro Tag. In der folgenden Tabelle sind Vergleichswerte aus verschiedenen Quellen aufgeführt.

Tabelle 13: spez. Warmwasser-Bedarf (60°C) gemäß unterschiedlicher Quellen (Hasper, 2015)

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 mittel hoch	10 – 20 20 – 40 40 - 80	
SIA 380	ca. 32	14 kWh/(m ² _{BGF, beh. a})

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).

Der tägliche pro-Kopf-Verbrauch in den einzelnen Wohnungen liegt im Bereich von 9,5 l/Tag bis 102,1 l/Tag.

5.2 Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme

5.2.1 Endenergieverbrauch gesamt

In nachfolgender Tabelle sind die Messwerte des Endenergieverbrauchs für die Messperiode vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 dargestellt. Die Werte für Wärmepumpe, Heizstäbe, Verteilerpumpen und Regelung (MSR Siemens) liegen in zeitlich hoher Auflösung vor. Sie entsprechen in Summe dem vom Stromversorger abgerechneten Stromverbrauch gemäß Zähler „Wärmepumpe“.

Der Verbrauch der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung wird nicht separat, sondern als Teil des Allgemeinstroms erfasst. Da die Komfortlüftung ganzjährig in einer Lüftungsstufe

betrieben wurde, kann der Verbrauch mit guter Genauigkeit aus der luftmengenspezifischen Leistungsaufnahme und dem bei Fertigstellung gemessenen mittleren Luftvolumenstrom ermittelt werden. Der verbleibende Rest des vom Allgemestromzähler 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. Da dieses erst später begann, sind die Jahreswerte aus den Messwerten für 10 Monate hochgerechnet.

Tabelle 14: Haus 12a, Endenergieverbrauch Haus 12a vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; VKW Zähler Allgemestrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom

Verbrauch in kWh	VKW-Zähler Wärmepumpe				VKW-Zähler Allgemestrom		Haushaltsstrom
	Wärmepumpe	Heizstäbe	Verteilerpumpen	Regelung	WRG	Allgemestrom	
Jun 24	760	0	24	87	192	65	975
Jul 24	671	0	24	90	198	54	1 007
Aug 24	641	0	27	90	198	48	1 007
Sep 24	876	0	34	87	192	37	975
Okt 24	1 077	0	41	90	198	44	1 007
Nov 24	1 611	285	76	87	192	69	975
Dez 24	2 220	29	130	90	198	179	1 007
Jan 25	2 114	35	129	90	198	202	1 007
Feb 25	1 789	95	154	81	179	125	910
Mar 25	1 216	600	171	90	198	49	1 007
Apr 25	618	939	131	87	192	42	975
Mai 25	805	0	75	90	198	24	1 007
Summe	14 397	1 983	1 016	1 055	2 337	934	11 861
spez. Verbrauch in kWh/(m²_{WNFA})	22,5	3,1	1,6	1,6	3,7	1,5	18,5

Der Jahresverbrauch der Wärmepumpe liegt bei 22,5 kWh/(m²_{WNFA}). Zusammen mit dem Verbrauch der Heizstäbe von 3,1 kWh/(m²_{WNFA}) ergibt sich ein Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 25,6 kWh/(m²_{WNFA}). Dies ist – vor Allem angesichts der mittleren Raumlufttemperatur von 22,6°C in der Heizperiode - ein sehr niedriger Wert.

Auch der Verbrauch der Verteilerpumpen ist mit 1,6 kWh/(m²_{WNFA}) niedrig, ebenso der Wert der Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung von 3,7 kWh/(m²_{WNFA}). Der Verbrauch der MSR liegt bei 1,6 kWh/(m²_{WNFA}) und damit in einer nicht zu vernachlässigenden Größenordnung. Der Haushaltsstromverbrauch liegt im Mittel der 11 Wohnungen bei 18,5 kWh/(m²_{WNFA}). 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 Allgemestromverbrauch liegt bei 1,5 kWh/(m²_{WNFA}).

In der folgenden Abbildung ist der Jahresverlauf des Endenergieverbrauchs grafisch dargestellt.

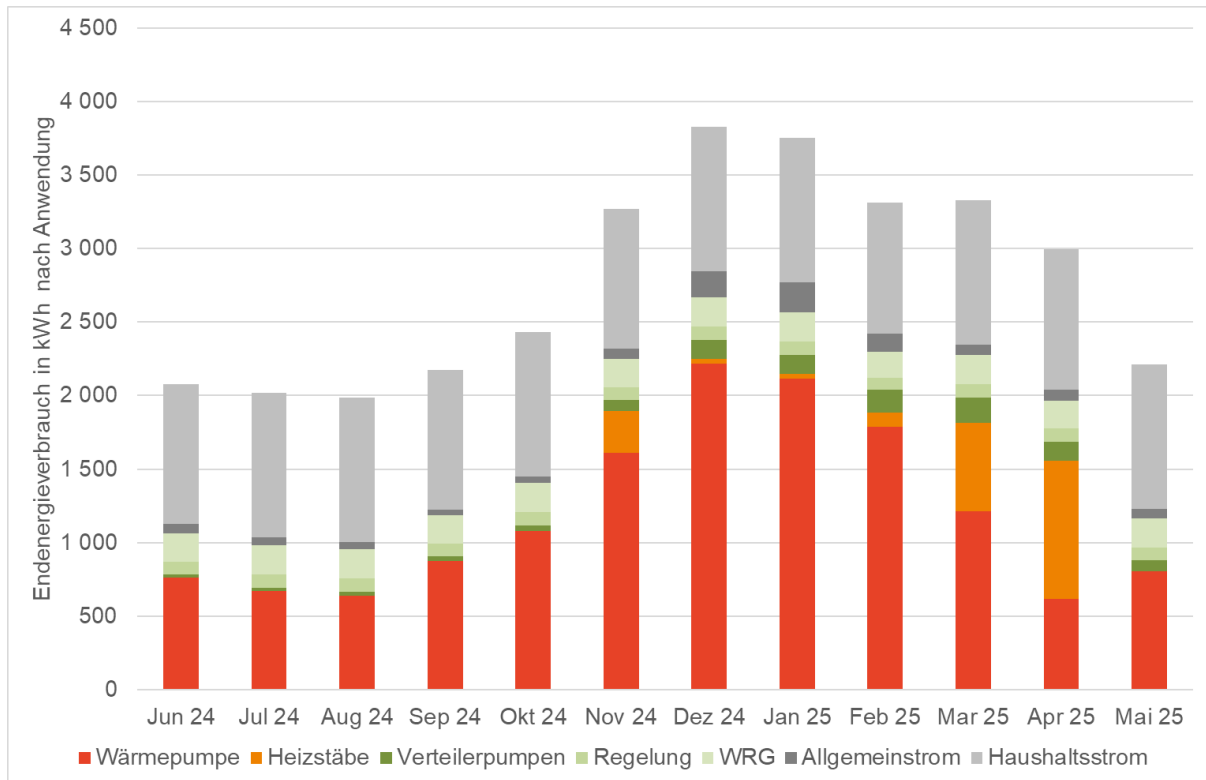


Abbildung 54: Haus 12a, Monatswerte des Endenergieverbrauchs vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; Techem Zähler Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom

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

Tabelle 15: spezifischer Endenergieverbrauch 01.06.2024 bis 31.05.2025 nach Anwendungen – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung, Haus 12a,

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

Die Gegenüberstellung zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Monitoringwerte mit den vorab durchgeführten PHPP-Verbrauchsprognoseberechnungen. Die berechneten, sehr niedrigen Endenergieverbräuche werden schon im ersten Betriebsjahr annähernd erreicht. Der Gesamtverbrauch in Summe aller Energieanwendungen liegt nur um 3,3 kWh/(m²_{WNFA}) oder

6,6% über dem vorab berechneten Wert. Der Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser liegt um 4,6 kWh/(m²_{WNFA}) über dem Berechnungswert. Hauptgrund sind zwei Ausfallzeiten der Wärmepumpe, in denen die Wärmeerzeugung durch die Elektroheizstäbe übernommen wurde. Eine genauere Analyse des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser erfolgt in Kapitel 5.2.2.

In der folgenden Tabelle sind in der mittleren Spalte zusätzlich Berechnungswerte aufgenommen, in denen die Annahmen der Verbrauchsprognose zur Nutzung sowie zur Außenlufttemperatur durch die realen Messwerte ersetzt wurden. Dabei wurden die folgenden Werte geändert:

- Mittlere Raumlufttemperatur Heizperiode: 22,6°C statt 22,5°C in der Prognose
- Mittlere Außenlufttemperatur in der Heizperiode: 4,8°C statt 4,4°C in der Prognose
- Globalstrahlung in der Heizperiode: 329 statt 305 kWh/m²
- Mittlerer pro-Kopf-Warmwasserverbrauch (60°C): 30,6 statt 32,5 Liter / Person * Tag

Tabelle 16: Haus 12a, spezifischer Endenergieverbrauch 01.06.2024 bis 31.05.2025 nach Anwendungen – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung und zu den Werten der korrigierten Verbrauchsprognoseberechnung

Verbrauchsprognoseberechnung PHPP 10.6		Verbrauchsprognose korrigiert	Monitoring Juni 24 bis Mai 25	
Nutzung nach Schätzung EIV		Nutzung real	Nutzung real	
Anwendung	kWh/(m ² _{WNFA})	kWh/(m ² _{WNFA})	Anwendung	kWh/(m ² _{WNFA})
Haushalts- und Allgemeinstrom	20,3	20,3	Haushalt	18,5
			Allgemein	1,5
Hilfsstrom	8,0	7,9	Lüftung	3,7
			MSR	1,6
			Pumpen	1,6
Heizung + Warmwasser	21,0	19,9	Heizstab	3,1
			Wärmepumpe	22,5
Summe	49,3	48,1	Summe	52,5

Wie der Vergleich zeigt, weicht der Verbrauch gemäß der korrigierten Verbrauchsprognoseberechnung (mit realen Nutzungs- und Klimarandbedingungen) nur geringfügig vom Wert der Vorab-Verbrauchsprognoseberechnung ab: Aufgrund der um 0,4°C höheren mittleren Außenlufttemperatur sinkt der Endenergiebedarf für die Heizung geringfügig, da die mittlere Raumlufttemperatur nur um 0,1°C über der Annahme in der Verbrauchsprognose liegt. Die etwas höhere Solarstrahlung im Messjahr senkt den Endenergieverbrauch für die Heizung minimal, der etwas niedrigere pro-Kopf-Warmwasserverbrauch reduziert den Endenergieverbrauch für Warmwasser leicht.

Insgesamt zeigen sowohl die vorab durchgeführte Verbrauchsprognose als auch die korrigierte Verbrauchsprognose (mit realen Nutzungs- und Klimarandbedingungen) eine sehr gute Übereinstimmung mit dem gemessenen Verbrauch des ersten Betriebsjahres.

Zur Einordnung der Verbrauchswerte nach 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 Raumlufttemperaturen dargestellt: 23°C – der höchste Wert einer Wohnung vor der Sanierung, 20°C als Standard-Annahme und 18°C – der vor Sanierung gemessene Mittelwert der Raumlufttemperatur aller Wohnungen⁵.

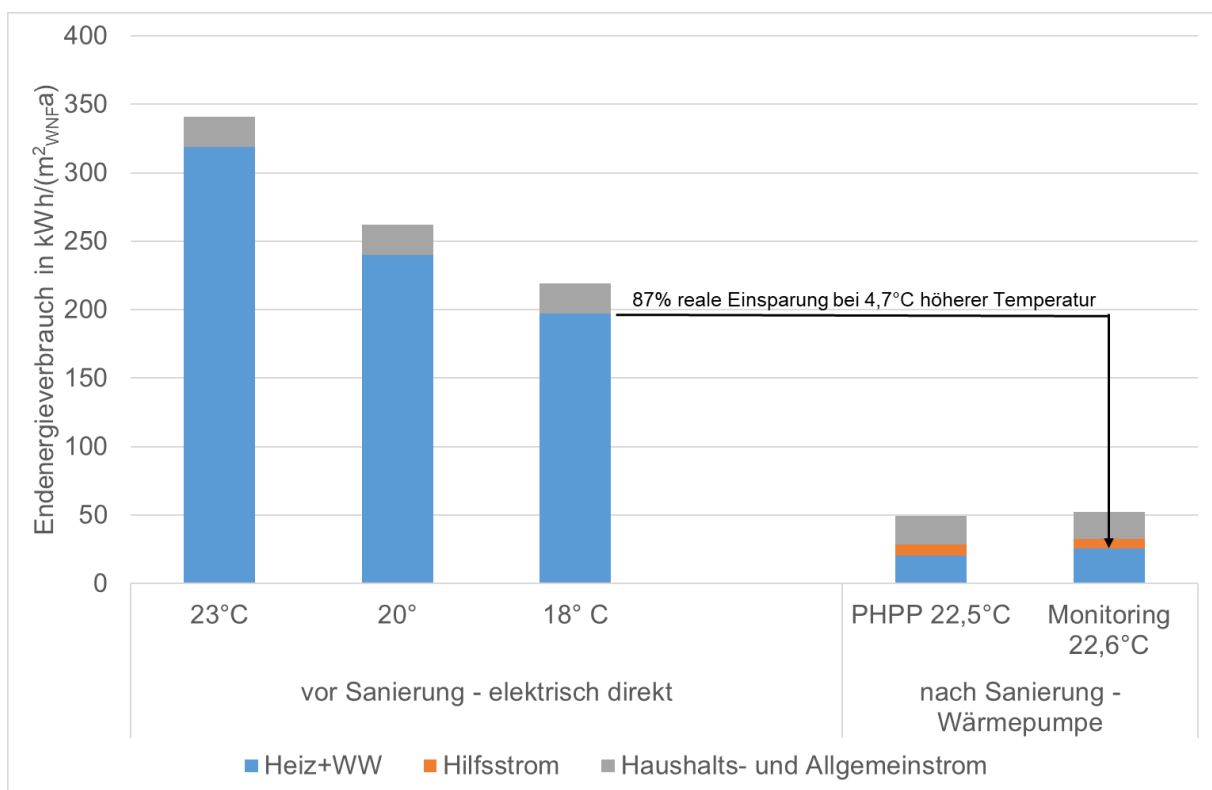


Abbildung 55: Haus 12a: Messwerte des spezifischer Endenergieverbrauchs vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen im Vergleich zu den Werten des unsanierten Gebäudes mit Infrarotheizung bei verschiedenen mittleren Raumlufttemperaturen in der Heizperiode

Wie die Abbildung verdeutlicht, liegt der Messwert des Endenergieverbrauchs_{Heizung+WW} 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.

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

Die Einsparung wird erzielt, obwohl die mittlere Raumlufthtemperatur während der Heizperiode nach Sanierung mit 22,6°C um 4,7°C höher liegt als zuvor.

Der Endenergieverbrauch in Summe aller Anwendungen liegt mit 52,5 kWh/(m²_{WNFA}) um 76% unter dem Wert von 219 kWh/(m²_{WNFA}) vor Sanierung.

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf des Endenergieverbrauchs nach Anwendung vor und nach Sanierung.

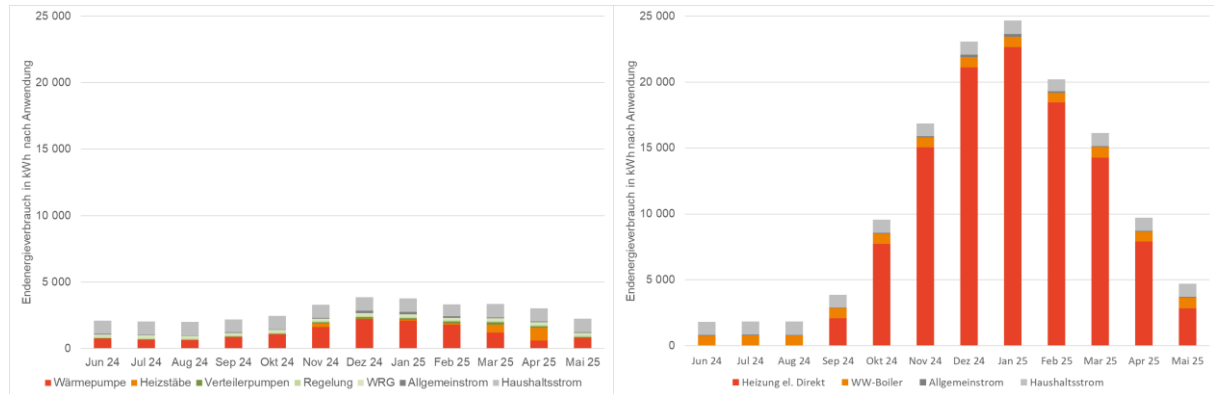


Abbildung 56: Monatswerte des Endenergieverbrauchs nach Anwendung; Messwerte nach Sanierung (links), Verbrauchsprognose Bestand vor Sanierung mit 17,9°C mittlerer Raumlufthtemperatur in der Heizperiode; Infrartheizung sowie el. Warmwasserboiler (rechts)

Die Abbildung verdeutlicht die sehr hohen Energieeinsparungen, die trotz der um 4,7°C höheren mittleren Raumlufthtemperatur in der Heizperiode erzielt werden können.

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.

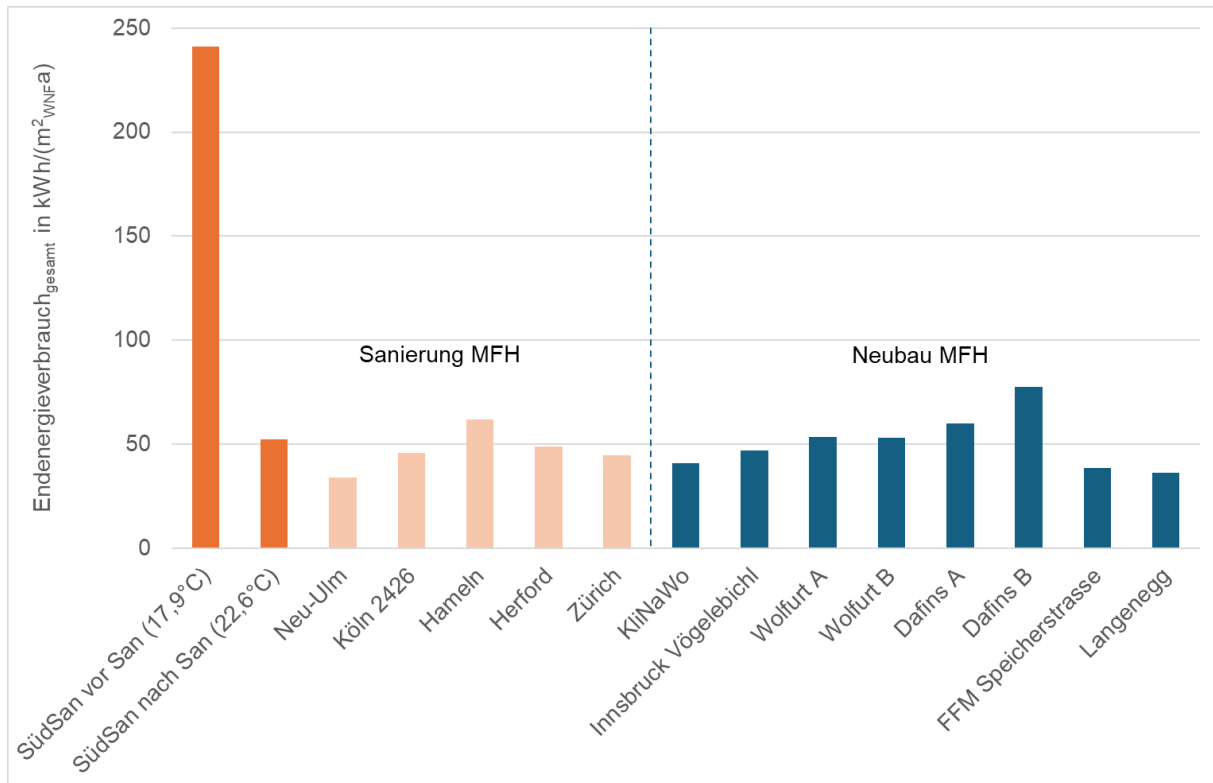


Abbildung 57: Endenergieverbrauch_{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}) (Ploss M. , 2024), (Ploss M. , 2022)

Der Endenergieverbrauch_{gesamt} der besten Mehrfamilienhaus-Sanierungen, d.h. ihr gesamter Verbrauch inkl. 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, u.a., da alle Wohnungen in diesem Gebäude nach Sanierung mit marktbesten Haushaltsgeräten ausgestattet wurden.

Mit seinem Verbrauch von 52,5 kWh/(m²_{WNFA}) 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.

5.2.2 Endenergieverbrauch Heizung und Warmwasser

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe im Monitoringzeitraum vom 01.06.24 bis zum 31.05.25 betrug 14.397 kWh. Dies entspricht einem auf die Wohnnutzfläche bezogenen, spezifischen Jahresverbrauch von 22,5 kWh(m²_{WNFA}). Die folgende Grafik zeigt den Jahresverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe.

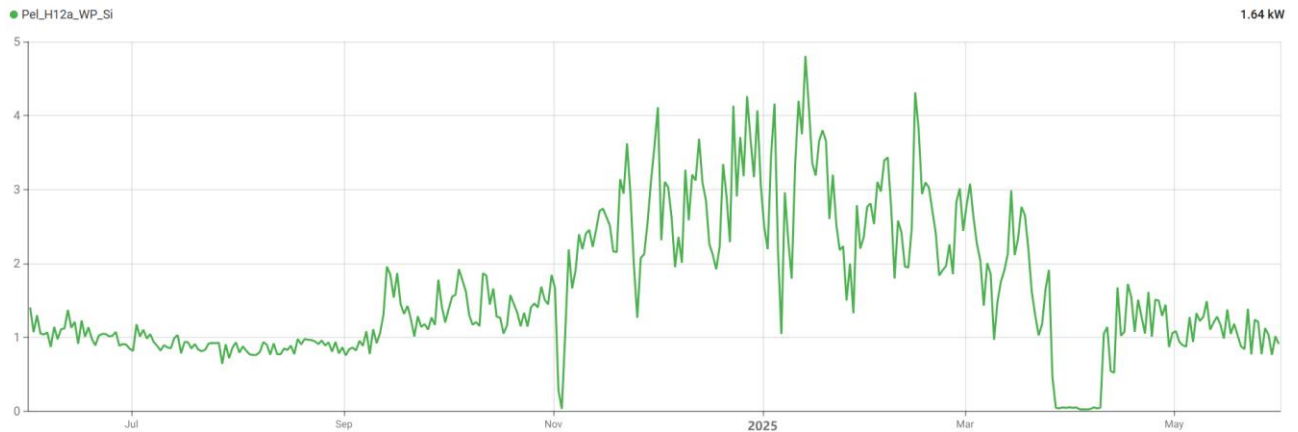


Abbildung 58: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Wie zu erkennen, traten im Messzeitraum zwei Ausfälle der Wärmepumpe auf: ein kürzerer nach Wartungsarbeiten im November 24 und ein 13-tägiger Ausfall Ende März/Anfang April 2025. Während der erste Ausfall im Monitoring schnell auffiel und behoben werden konnte, blieb der zweite länger unbemerkt, da die elektrischen Heizstäbe nach Auftreten des Fehlers manuell eingeschaltet wurden, ohne dies an den Hausbesitzer oder die Beteiligten am Forschungsprojekt zu melden.

Der höchste Tagesmittelwert der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe lag an einem Tag im Januar bei 4,8 kW.

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

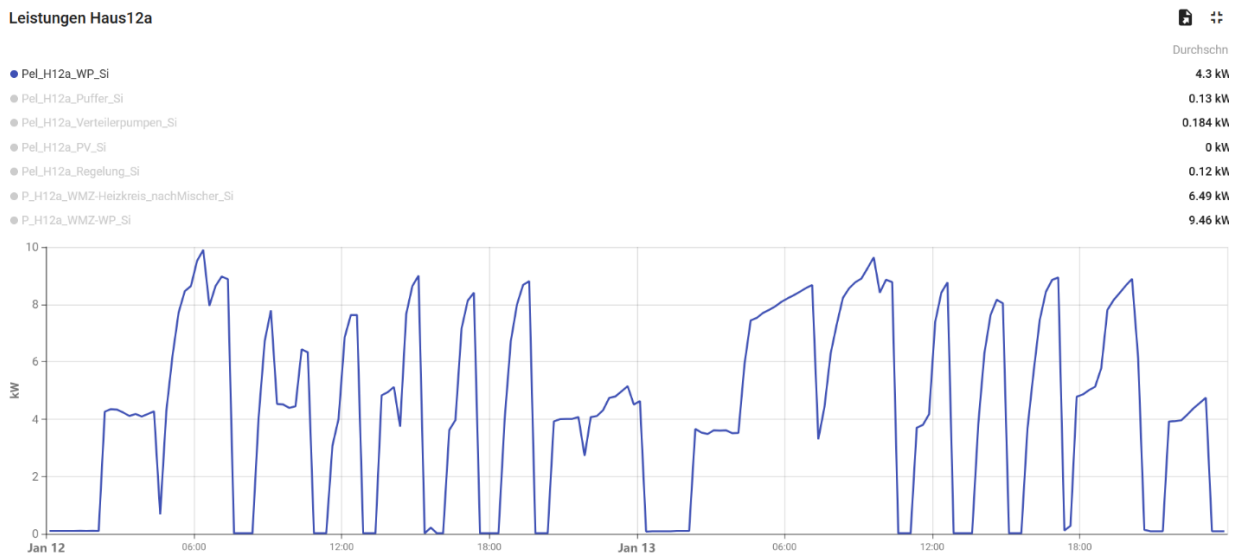


Abbildung 59: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Januar 2025, 15-Minuten-Mittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Der höchste 15-Minutenwert der Leistungsaufnahme trat am 12.01.25 morgens mit 9,9 kW auf. Auch der höchste 5-Minutenwert der Leistungsaufnahme lag bei 9,9 kW (nicht dargestellt). Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und der elektrischen Heizstäbe.



Abbildung 60: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Der Verbrauch der Heizstäbe betrug 1.983 kWh/a. Dies entspricht $3,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der Großteil des Verbrauchs trat während der beiden Ausfälle der Wärmepumpe auf, ein sehr kleiner Teil in der übrigen Heizsaison.

Der höchste 15-Minutenwert der Leistungsaufnahme in Summe der Wärmepumpe und der elektrischen Heizstäbe betrug wie der höchste 5-Minutenwert 9,9 kW. Die Heizstäbe wurden also nicht zeitgleich mit der höchsten auftretenden Leistungsaufnahme der Wärmepumpe genutzt.

Der Gesamt-Stromverbrauch der Wärmepumpe und der elektrischen Heizstäbe für Wärme (Heizung und Warmwasser) betrug 16.380 kWh/a. Dies entspricht einem spezifischen Endenergieverbrauch $_{\text{Heiz+WW}}$ von $25,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Die folgende Abbildung zeigt die Messwerte des Endenergieverbrauch $_{\text{Heiz+WW}}$ 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.

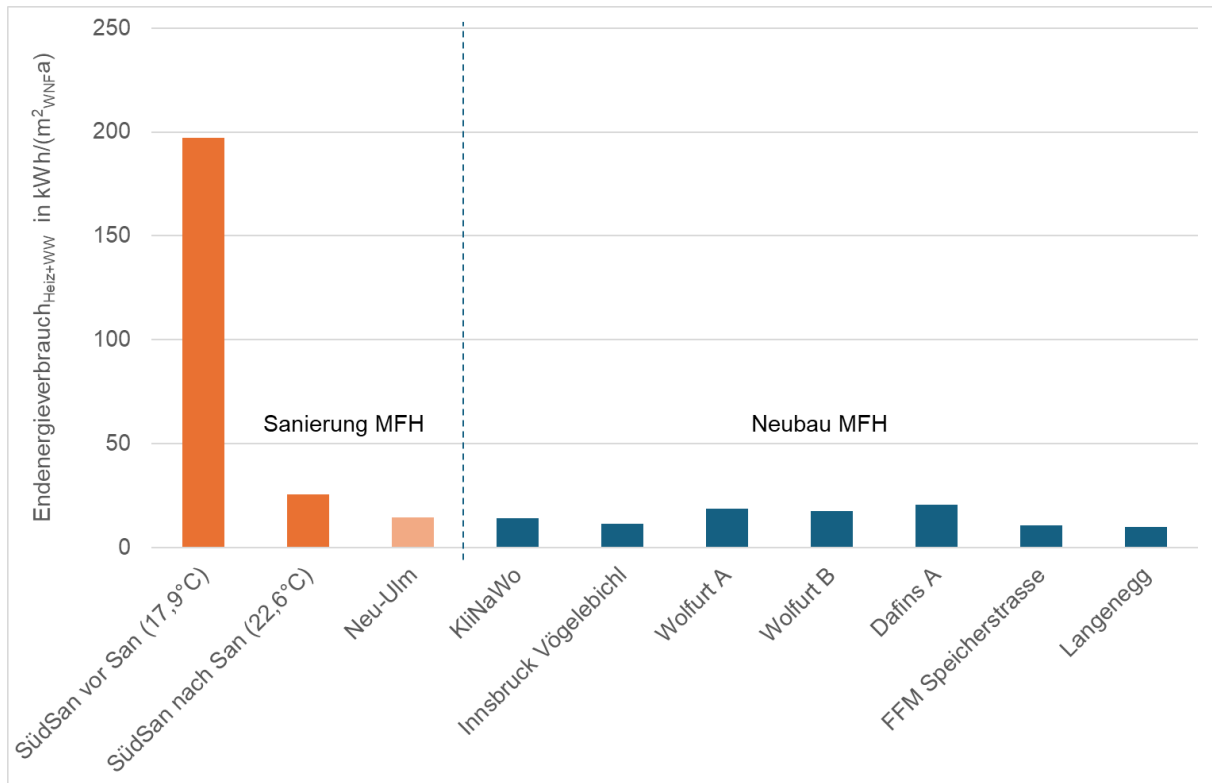


Abbildung 61: Endenergieverbrauch_{Heiz+WW} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m²_{WNFA}); (Ploss M. , 2024), (Ploss M. , 2022)

Der Endenergieverbrauch_{Heiz+WW} des großen SüdSan-Gebäudes von 25,6 kWh/(m²_{WNFA}) liegt nur unwesentlich über den Verbräuchen der besten Mehrfamilienhaus-Neubauprojekte im deutschsprachigen Raum. Diese liegen bei etwa 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 bereits im ersten Betriebsjahr nach Sanierung annähernd die Anforderung für die Höchstpunktzahl im Kriterium Endenergieverbrauch des klimaaktiv Katalogs Nutzung. Diese liegt bei 25 kWh/(m²_{WNFA}).

Update November 2025:

Die Messwerte zeigen einen leicht sinkenden Jahreswert des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser. Der aktuellste verfügbare Jahreswert für den Zeitraum von November 2024 bis Oktober 2025 liegt bei 24,98 kWh/(m²_{WNFA}). Wie die Messwerte zeigen, ist der sinkende Wert nicht auf die meteorologischen Randbedingungen oder ein verändertes Nutzerverhalten, sondern auf die ersten kleineren Optimierungsmaßnahmen zurückzuführen.

5.2.3 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.

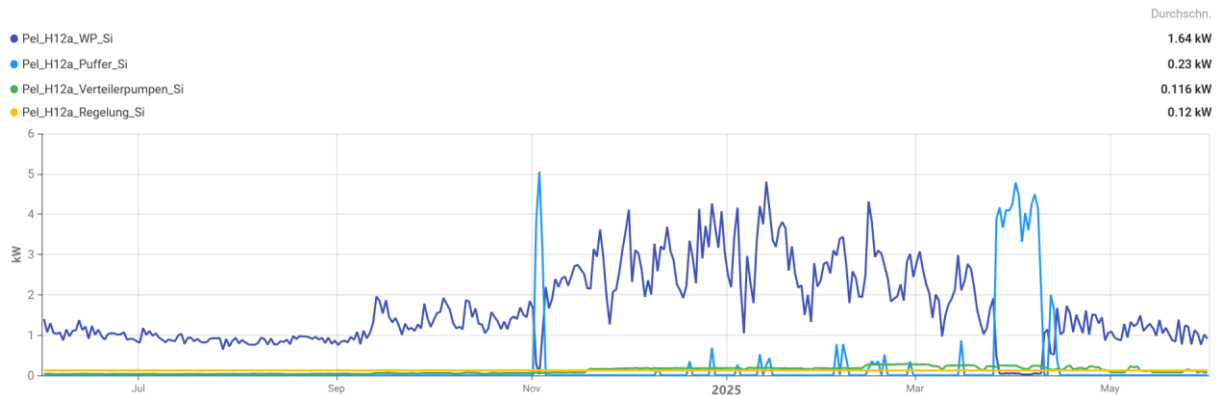


Abbildung 62: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Heizstäbe, Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Der Jahresverbrauch der Verteilerpumpen betrug 1.016 kWh/a bzw. 1,6 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 63: Haus 12a, el. Leistung Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR

Während die MSR eine ganzjährig gleiche Leistungsaufnahme von 116 W hat, liegt die tagesmittlere Leistungsaufnahme der Pumpen im Sommer bei etwa 30 bis 40 W liegt und während der Heizperiode bei etwa 180 W im Tagesmittel. Gegen Ende der Heizperiode benötigten die Pumpen im Tagesmittel etwa 210 bis 280 W tagesmittlere Leistung. Der Grund für diese nochmals höheren Werte konnte noch nicht eruiert werden.

Der Verbrauch der Warmwasserumwälzpumpe kann aus den Monitoring-Werten für den Sommer bestimmt werden, da in dieser Zeit die Heizungsumwälzpumpe nicht in Betrieb ist. In der Zeit vom 1.7.25 bis 1.8.25 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 $0,96 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$. Aus dem Gesamtverbrauch der Pumpen von 1.016 kWh/a kann der Verbrauch der Heizungsumwälzpumpe zu 403 kWh/a bestimmt werden. Dies entspricht $0,63 \text{ kWh/(m}^2_{\text{WNFA}})$

5.2.4 Endenergieverbrauch Haushalt

In der folgenden Tabelle sind die Messwerte des Haushaltsstromverbrauchs als flächenspezifische Werte der Wohnungen dargestellt. Die Werte wurden aus Messwerten für 10 Monate hochgerechnet, für 2 Wohnungen mit Lücken in der Datenaufzeichnung aus Werten für ca. 5 Monate.

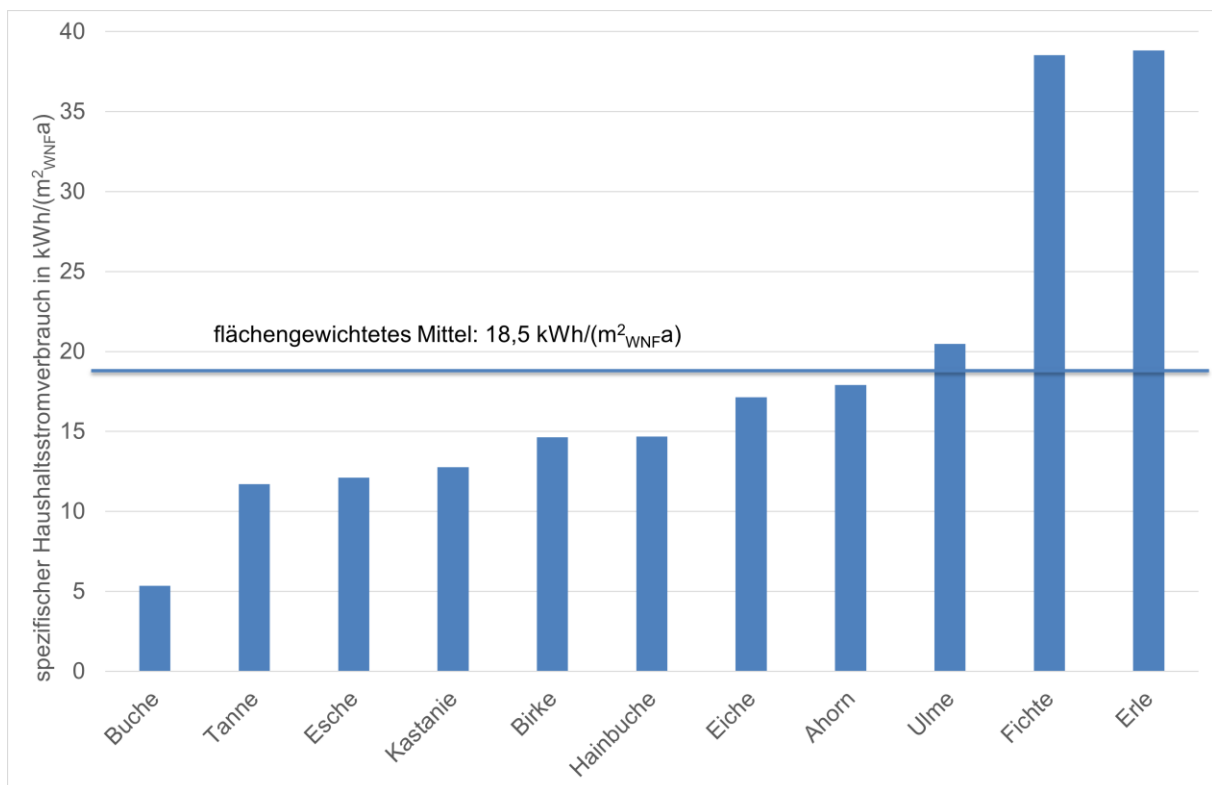


Abbildung 64: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Jahres-Haushaltsstroms der Wohnungen; Haus 12a, 01. Juni 2024 bis 31. Mai 2025

Der Mittelwert des Jahres-Haushaltsstromverbrauchs liegt bei 1.078 kWh/(a) . Dies entspricht einem flächenspezifischen Wert von $18,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{WNFA}}$.

Dieser Verbrauch liegt um etwa 23% 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_{WNFA}) (Bittermann, 2018).

Die Werte der einzelnen Wohnungen liegen mit 3 Ausnahmen bei 12 bis 20 kWh/(m²_{WNFA}). Die flächenspezifischen Werte sind niedrig, da die Belegungsdichte der Wohnungen gering ist: bei 10 der 11 Wohnungen handelt es sich um Einpersonenhaushalte, die mittlere pro-Kopf-Wohnfläche liegt bei 53,2 m²_{WNF} pro Person.

5.2.5 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 sind im Wert für den Heizwärmeverbrauch enthalten.

Tabelle 17: Haus 12a – Monatswerte des spezifischen Heizwärmeverbrauchs der Wohnungen, Juni 2004 bis Mai 2025; Quelle: Zähler Techem

	spezifischer Heizwärmeverbrauch in kWh/(m ² _{WNFA})											
	Ahorn	Birke	Buche	Eiche	Erle	Esche	Fichte	Hainbuche	Kastanie	Tanne	Ulme	Mittelwert
Jun 24	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul 24	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 24	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 24	0,1	1,1	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,1	0,0	0,4
Okt 24	0,7	1,7	1,6	1,5	0,2	0,0	0,6	0,9	0,0	0,1	0,2	0,7
Nov 24	1,7	5,5	2,9	4,5	4,8	0,0	2,3	3,5	0,0	0,8	0,7	2,4
Dez 24	10,6	9,7	3,1	7,3	6,6	0,0	1,9	5,0	0,3	2,0	3,1	4,5
Jan 25	9,1	9,1	2,3	7,1	5,8	0,5	0,5	6,6	0,1	0,3	7,8	4,5
Feb 25	6,8	7,8	2,8	6,0	5,0	0,0	0,9	5,4	0,1	0,1	5,2	3,7
Mar 25	5,0	5,7	2,4	3,6	1,3	0,0	1,6	3,7	0,3	0,2	4,0	2,5
Apr 25	2,2	2,4	0,2	1,1	0,2	0,0	0,6	1,2	0,0	0,1	1,2	0,8
Mai 25	0,7	0,9	0,0	0,2	0,1	0,0	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2
Summe Jahr	37,0	43,9	16,9	31,5	24,0	0,6	8,5	27,5	0,7	4,6	22,2	19,8

Der spezifische Jahres-Heizwärmeverbrauch des Gebäudes liegt bei 19,8 kWh/(m²_{WNFA}). Dies ist angesichts der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur vor 22,6°C ein sehr niedriger Wert. Er liegt deutlich unter dem Wert der auf die realen Nutzungsparameter korrigierten Verbrauchsprognoseberechnung von 30,4 kWh/(m²_{WNFA}).

Der Hauptgrund für den im Vergleich zur Berechnung deutlich niedrigeren Heizwärmeverbrauch ist, dass die Wohnungen über die Verluste der Warmwasserverteilung „vortemperiert“ werden. Die vertikale Warmwasserverteilung 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 sie unter der Kellerdecke und damit im unbeheizten Bereich erfolgt.

Die Gesamtverluste der Warmwasserverteilung betragen $17,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der Anteil der Verluste der etwa 25 m langen Horizontal-Verteilung im Keller kann auf etwa 30% der gesamten Warmwasser-Verteilverluste abgeschätzt werden, dies entspricht etwa $5,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Damit verbleiben ca. $12,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ an Verlusten im beheizten Bereich. 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 $12,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ als nicht beeinflussbare Abwärme zur Beheizung der Gebäude bei. Dieser Anteil entspricht $6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der außerhalb der Heizperiode im beheizten Gebäudebereich anfallende, nicht nutzbare Anteil der Verluste der Warmwasserverteilung beträgt damit $6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Der um die nutzbaren Anteile der Warmwasser-Verteilverluste korrigierte Heizwärmeverbrauch beträgt $19,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}}) + 6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}}) = 26,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Dieser Wert liegt knapp unter 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 $5,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und den außerhalb der Heizperiode anfallenden Verlusten im beheizten Gebäudebereich in Höhe von $6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ zusammen. Insgesamt fallen also $11,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ an nicht nutzbaren Warmwasser-Verteilverlusten an.

Die Verteilverluste sind damit im ersten Betriebsjahr – auch wegen des hohen Temperaturniveaus – relativ hoch.

Ein weiterer Grund für den im Vergleich zur Verbrauchsprognose niedrigeren Heizwärmeverbrauch sind die hohen Lade-, Speicher- und Verteilverluste im Keller: Aufgrund dieser Verluste ist die mittlere Temperatur im Keller mit $17,5^\circ\text{C}$ während der Heizperiode hoch. Dies führt dazu, dass die Transmissionswärmeverluste vom Erdgeschoß in den Keller geringer ausfallen als berechnet.

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. 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.

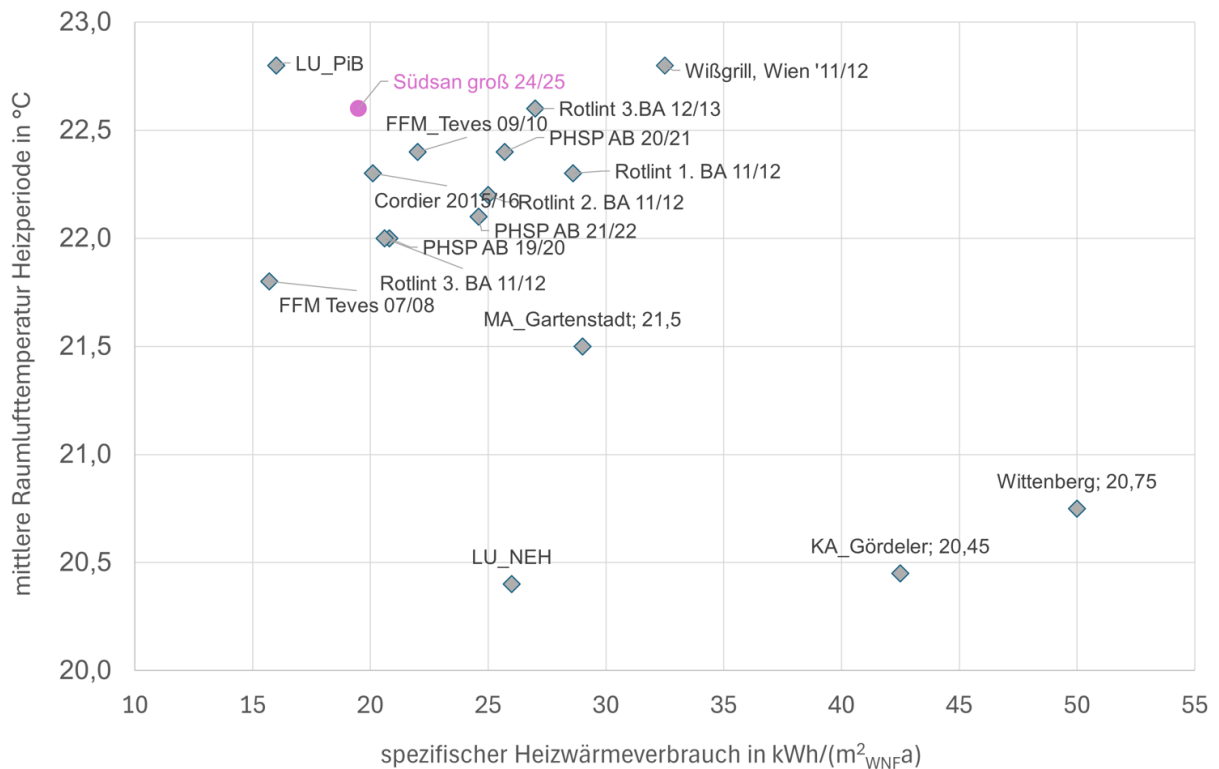


Abbildung 65: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), ergänzt um Projekt SüdSan groß

Der Heizwärmeverbrauch des großen SüdSan-Gebäudes gehört mit 19,8 kWh/(m²_{WNFA}) zu den niedrigsten Werten von Mehrfamilienhaus-Sanierungen im deutschsprachigen Raum. Diese liegen im Bereich von 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 zeigt den aufsteigend sortierten, spezifischen Heizwärmeverbrauch der Wohnungen im großen SüdSan-Gebäude.

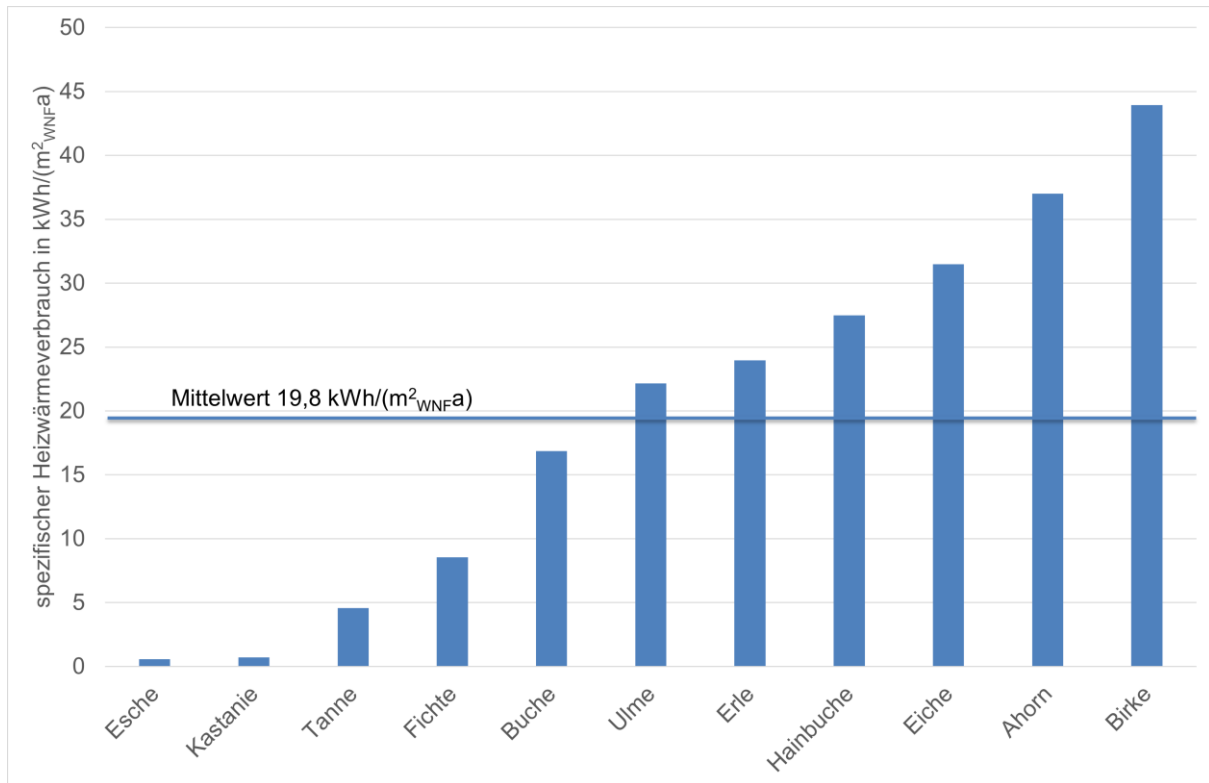


Abbildung 66: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2004 bis Mai 2025; aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem

Die Werte der einzelnen Wohnungen liegen zwischen 8,5 und 43,9 kWh/(m²_{WNFA}), drei Wohnungen haben mit 0,6 bis 4,6 kWh/(m²_{WNFA}) einen nochmals geringeren Wärmeverbrauch. Bei einer der Wohnungen mit extrem niedrigem Heizwärmeverbrauch 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.

Eine weitere Wohnung mit niedrigem Verbrauch hat keine Verluste nach oben und unten („Sandwich-Wohnung“) und eine leicht unterdurchschnittliche mittlere Heizperiodentemperatur von 21,4°C. Die dritte Wohnung hat ebenfalls keine Verluste nach oben und unten, Aussagen zum Temperaturniveau sind für diese Wohnung nicht möglich, da keine durchgängigen Temperaturdaten verfügbar sind.

Die folgende Abbildung gleicht Abbildung 66, zusätzlich sind die mittleren Raumlufttemperaturen der Wohnungen in der Heizperiode und ihre Lage im Gebäude und die Orientierung dargestellt.

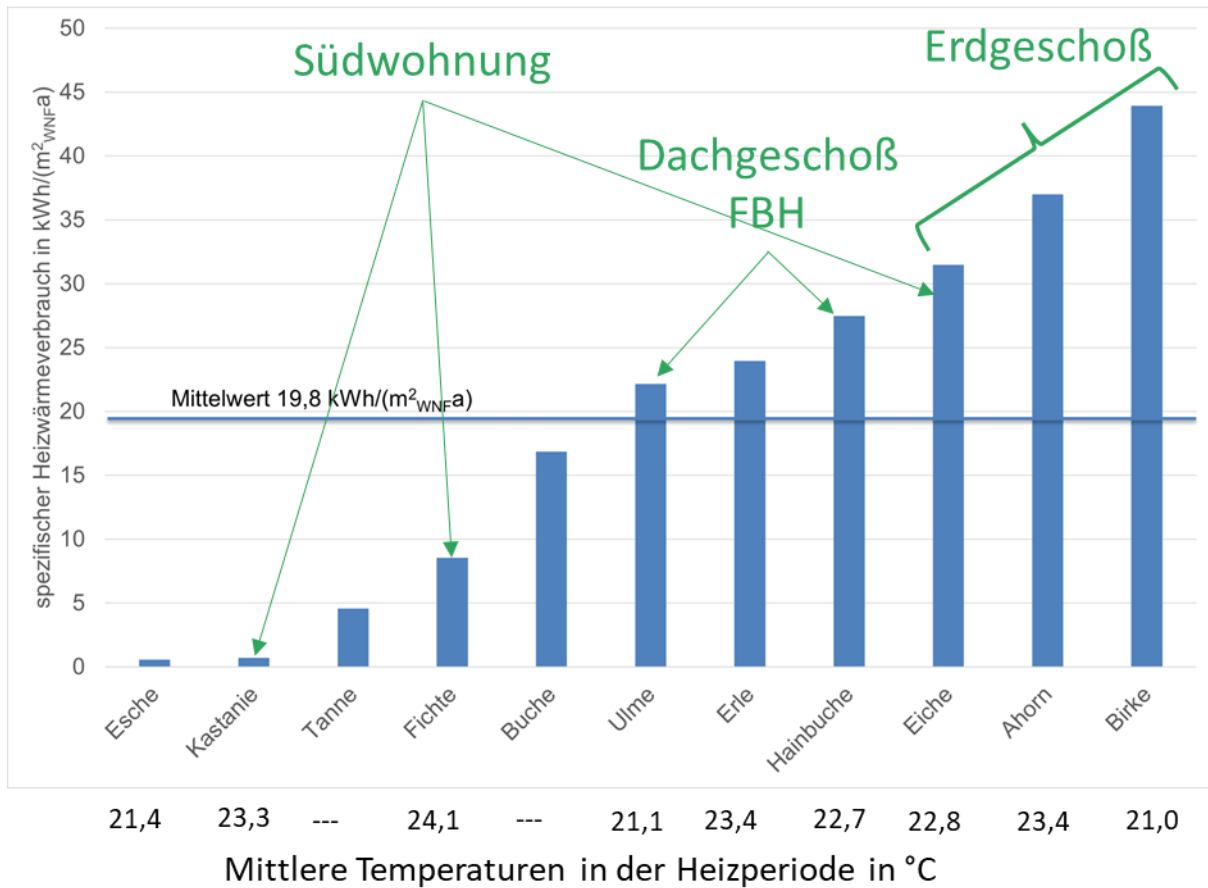


Abbildung 67: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2004 bis Mai 2025 mit räumlicher Zuordnung; aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem

Die Abbildung verdeutlicht, dass die südorientierten Wohnungen, die im Vergleich zu den anderen Wohnungen auch über eine geringere wärmeabgebende Fläche verfügen, wie zu erwarten die niedrigsten Verbräuche pro Geschoss haben. Ebenfalls ersichtlich ist, dass die EG-Wohnungen aufgrund der zusätzlichen Verluste zum Keller die höchsten Verbräuche haben.

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf des spezifischen Heizwärmeverbrauchs des Gesamtgebäudes.

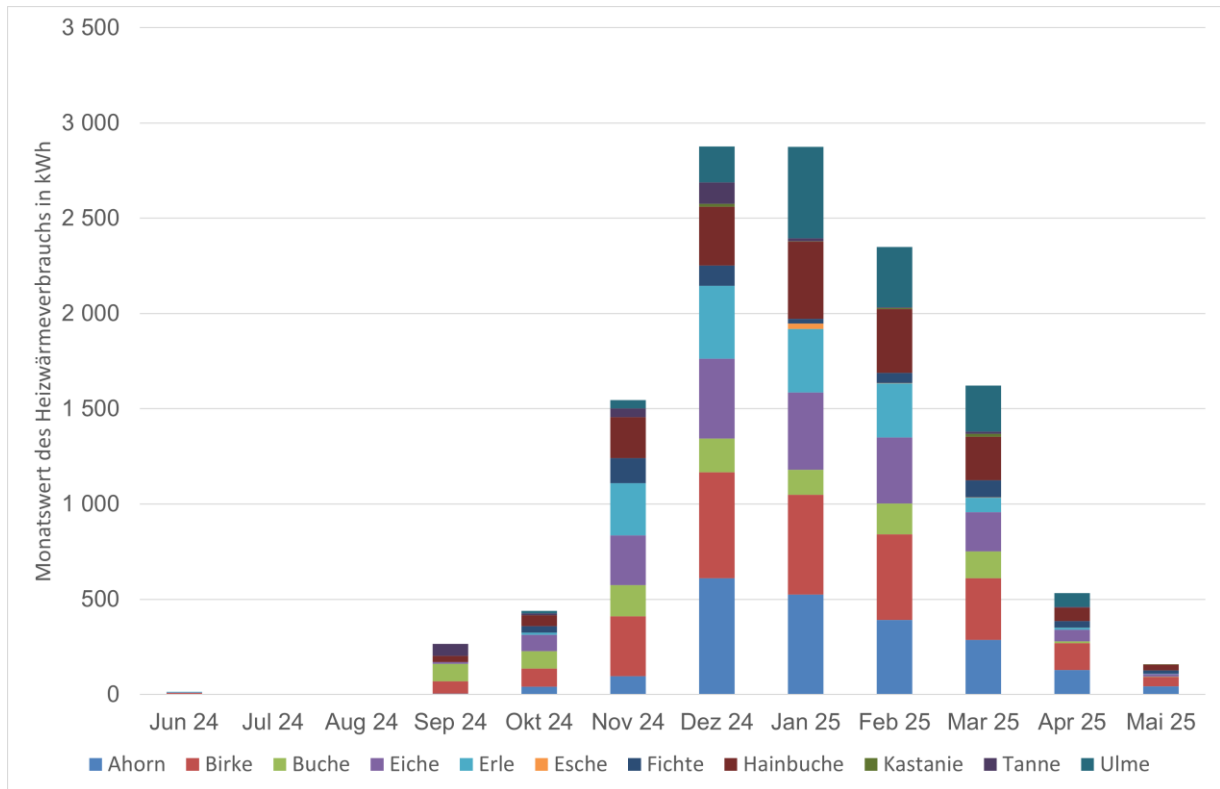


Abbildung 68: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch Juni 2024 bis Mai 2025, Monatswerte; Quelle: Zähler Techem

Die Abbildung verdeutlicht, dass der weitaus größte Anteil des Heizwärmeverbrauchs in den Monaten Oktober bis März anfiel – nur 1,5 kWh/(m²_{WNFA}) oder knapp 8% fallen außerhalb dieses Zeitraums an.

5.2.6 Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme)

In der Tabelle 18 sind der Warmwasserverbrauch und die Verluste der Warmwasserbereitung von Pufferspeicher bis Zapfstelle dargestellt. Eine genaue Beschreibung der messtechnischen Erfassung und der Verteilverluste erfolgt in Kapitel 5.2.8

Tabelle 18: Haus 12a – Jahres- Warmwasserverbrauch und spezifischer Warmwasserverbrauch und Verteilverluste Juni 2004 bis Mai 2025; Quelle: SüdSan Warmwasser MJ1_15m

Q WW Gesamt (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	18.503,85	[kWh/a]	28,92	[kWh/m ² a]
Q WW Verluste (ab WMZ Speicher bis Übergabestation)	11.545,65	[kWh/a]	18,04	[kWh/m ² a]
Q WW Verbrauch (an Zapfstelle)	6.958,20	[kWh/a]	10,87	[kWh/m ² a]

5.2.7 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.

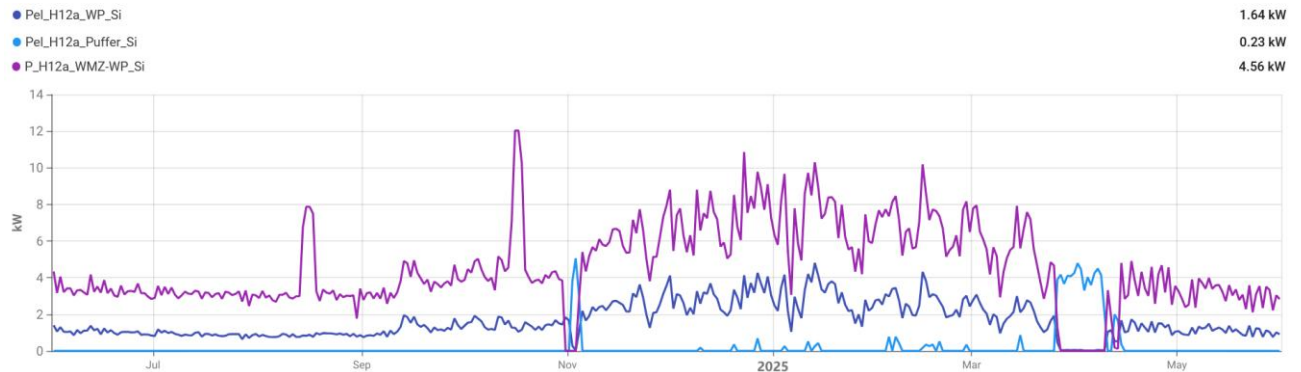


Abbildung 69: Haus 12a, Leistungen modulierende Luft-Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2004 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: MSR Siemens; violett: Wärmeabgabe Wärmepumpe; dunkelblau: el. Leistung Wärmepumpe; hellblau: el. Leistung Heizstäbe

Der Endenergieverbrauch für die Wärmepumpe beträgt $22,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, der der Heizstäbe $3,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der Wärmeoutput der Wärmepumpe beträgt 39.946 kWh/a , dies entspricht $62,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

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.

Zum Vergleich sind auch die Werte der Wärmepumpe ohne Heizstäbe dargestellt.

Im Anschluss werden die Jahres- und Monatsarbeitszahlen der Wärmepumpe gemäß online-Portal des Wärmepumpenherstellers IDM dargestellt.

Tabelle 19: Monats- und Jahresarbeitszahl der Wärmeerzeugung (Wärmepumpe + Heizstäbe)

	therm. Energie WP	Verbrauch Heizstäbe	Verbrauch WP	Arbeitszahl	Arbeitszahl WP
	kWh	kWh	kWh		
Jun 24	2 406	0	760	3,16	3,16
Jul 24	2 309	0	671	3,44	3,44
Aug 24	2 655	0	641	4,14	4,14
Sep 24	2 621	0	876	2,99	2,99
Okt 24	3 617	0	1 077	3,36	3,36
Nov 24	3 777	285	1 611	2,14	2,34
Dez 24	5 450	29	2 220	2,44	2,46
Jan 25	5 154	35	2 114	2,41	2,44
Feb 25	4 705	95	1 789	2,55	2,63
Mar 25	3 325	600	1 216	2,16	2,73
Apr 25	1 643	939	618	1,66	2,66
Mai 25	2 318	0	805	2,88	2,88
Summe/Mittel	39 980	1 983	14 397	2,56	2,78

Die Aufstellung zeigt, dass die Arbeitszahlen der Wärmeerzeugung (Luftwärmepumpe + Heizstäbe) im ersten Betriebsjahr nur mittelmäßig waren. Der Jahreswert liegt bei 2,56, der höchste Monatswert wurde im August 2024 mit 4,14 erreicht. Im Kernwinter – Dezember, Januar und Februar 2025 betrug die Monatsarbeitszahl 2,44, 2,41 bzw. 2,55. In diesen Monaten waren die Heizstäbe nur in minimalem Ausmaß in Betrieb. Im März und April wurden mit 2,16 bzw. 1,66 die niedrigsten Monatsarbeitszahlen erreicht. Dies ist auf den 13-tägigen Ausfall der Wärmepumpe zurückzuführen. In dieser Zeit übernahmen die Elektroheizstäbe die gesamte Wärmeerzeugung.

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ohne Heizstäbe beträgt 2,78. Die Monatswerte liegen zwischen 2,34 im November 2024 und 4,14 im August 2024.

Zum Vergleich sind in der folgenden Tabelle die Werte nach Abruf vom online-Portal des Wärmepumpenherstellers dargestellt.

Tabelle 20: Monatswerte der Wärmeabgabe und des Stromverbrauchs der Wärmepumpe und der Heizstäbe; Haus 12a

	Strom	Wärme	AZ
	kWh	kWh	
Jun.24	702	2 693	3,84
Jul.24	640	2 614	4,08
Aug.24	518	2 482	4,79
Sep.24	838	2 950	3,52
Okt.24	1 025	3 494	3,41
Nov.24	1 461	4 165	2,85
Dez.24	1 988	5 855	2,90
Jan 25	1 896	5 629	2,94
Feb.25	1 612	4 927	3,02
Mar 25	1 092	3 479	3,19
Apr.25	557	1 851	3,32
Mai.25	750	2 592	3,46
Messjahr	13 079	42 731	3,29

Bei den Werten des Herstellers ist zu beachten, dass die Werte für den Stromverbrauch gemessen sind, die für die Wärmeabgabe nach nicht offengelegten Algorithmen berechnet.

Die Werte enthalten den Energieverbrauch für das Abtauen.

Die Herstellerwerte sind für den Stromverbrauch um knapp 9% niedriger und für die Wärmeabgabe um 5,5% höher. Dementsprechend sind die Arbeitszahlen merklich höher.

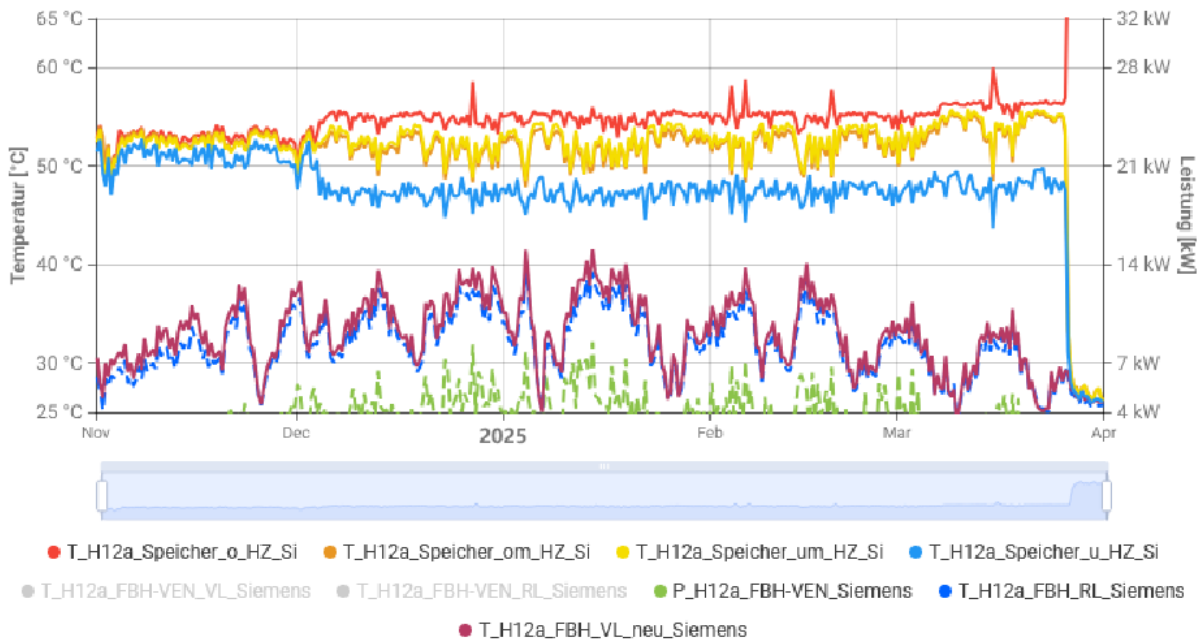
Ein Grund für den höheren Stromverbrauch gemäß Siemens Monitoring ist, dass diese den Verbrauch der Speicherladepumpe und der Regelung der Wärmepumpe enthalten, der in den Herstellerwerten nicht enthalten ist.

In Abbildung 70 ist der Verlauf der Heizungstemperatur über die komplette Heizsaison 2024/2025 und für eine kalte Woche im Jänner 2025 dargestellt.

Die Pufferspeichertemperaturen (rote-, gelbe-, orange- und blaue Kurve) bewegen sich im Mittel zwischen 48°C und 55°C. Die tatsächlich benötigte Vorlauftemperatur (dunkelrote Kurve) am Fußbodenheizkreis bewegt sich zwischen 30°C und 40°C. Nach Auslegung sollen die Temperaturen des Pufferspeichers um 3-4K über der Vorlauftemperatur liegen. Das tatsächliche Temperaturniveau im Speicher ist damit deutlich höher als geplant.

Die unnötig hohen Speichertemperaturen führen einerseits zu hohen Speicherverlusten und andererseits zu mäßigen Arbeitszahlen der Wärmepumpe.

Heizungsverteilung FBH



Heizungsverteilung FBH

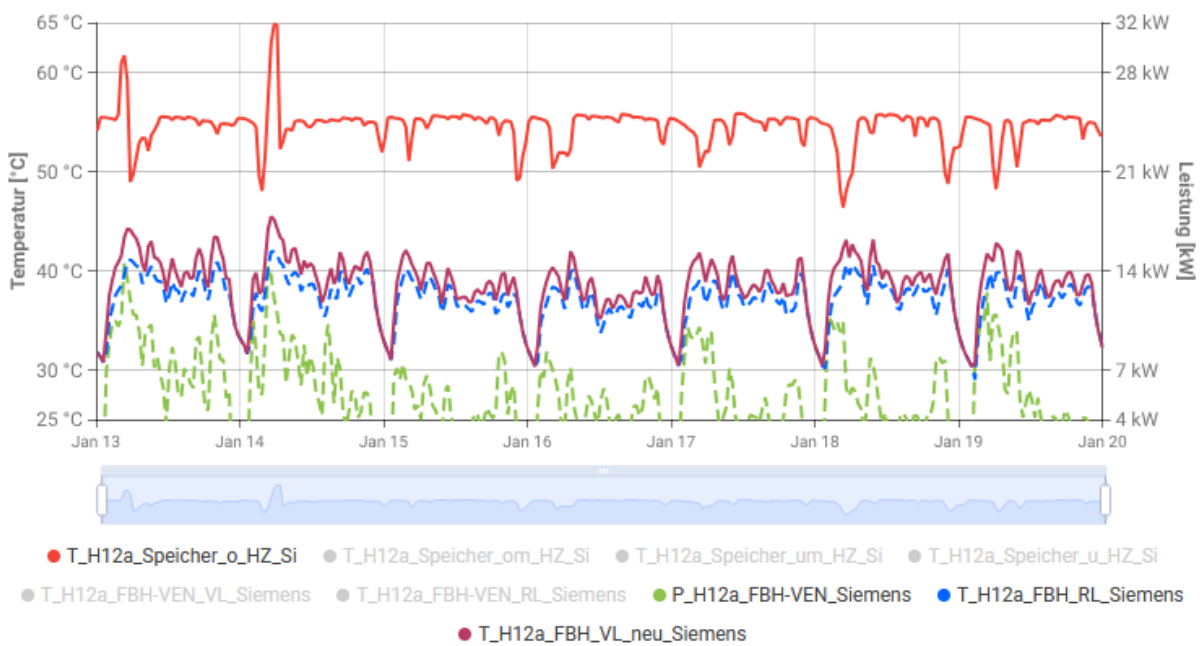


Abbildung 70: Temperaturverlauf Pufferspeiche Heizung, FBH- VL und RL und Heizleistung der FBH Heizsaison 2024/2025 und Kalte Winterwoche Jänner 2025; Quelle: Heizung- Haus 12a

Ein Grund für die relativ niedrigen Arbeitszahlen ist das hohe Temperaturniveau, das die Wärmepumpe bereitstellt. In den folgenden Abbildungen sind die Vor- und Rücklauftemperaturen

zwischen Wärmepumpe und Speichern dargestellt. Bei den Werten handelt es sich nicht um die Vor- und Rücklauf­temperatur zu den Heizkreisen.



Abbildung 71: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); 01. Juni 2024 bis 31.05.25; Tagesmittelwerte

Die Vorlauf­temperatur zu den Speichern betrug zu Beginn des ersten Betriebsjahrs etwa 55°C, am Ende etwa 50°C. Ausnahme sind die beiden Perioden, in denen die Wärmepumpe ausfiel. Die Rücklauf­temperatur lag im gesamten Messjahr um etwa 5K niedriger als die Vorlauf­temperatur. Die Wärmepumpe arbeitet ganzjährig auf einem hohen Temperaturniveau. Zur genaueren Analyse der Regelung und Betriebsweise der Wärmepumpe zeigen die folgenden vier Abbildungen den Verlauf der Vorlauf- und Rücklauf­temperaturen (zwischen Wärmepumpe und Speicher) – jeweils für die kälteste Winterwoche und die wärmste Sommerwoche, einmal als 30-Minuten-Mittelwerte und einmal mit feinerer Auflösung (5-Minutenwerte).

In allen dargestellten Zeiträumen bleibt der Betrieb der Wärmepumpe durchgehend im Warmwasserbereitungsmodus. Eine Umschaltung in den Heizmodus erfolgt nicht, obwohl gleichzeitig auch Heizwärmebedarf besteht. Der Heizungsspeicher wird dauerhaft auf Warmwasser-Temperaturniveau beladen, was energetisch ineffizient ist und unnötig hohe Speicher­verluste verursacht.

Die genaue Solltemperatur der Speicher ist im Monitoring nicht ersichtlich – es wird lediglich die Ist-Temperatur der Speicher ausgewertet. Auch eine Dokumentation oder Offenlegung des Algorithmus zur Temperatur­anforderung ist nicht vorhanden.

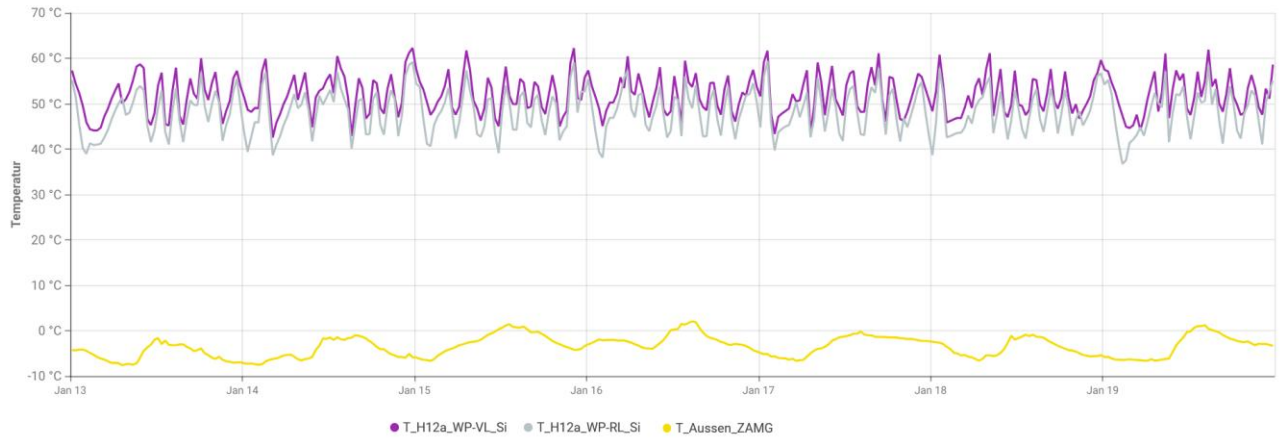


Abbildung 72: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); kälteste Winterwoche; 30-Minutenwerte

Es ist ein typisches Takten der Wärmepumpe sichtbar. Die Vor- und Rücklauftemperaturen zwischen Wärmepumpe und Speicher schwanken zwischen 40-60 °C.

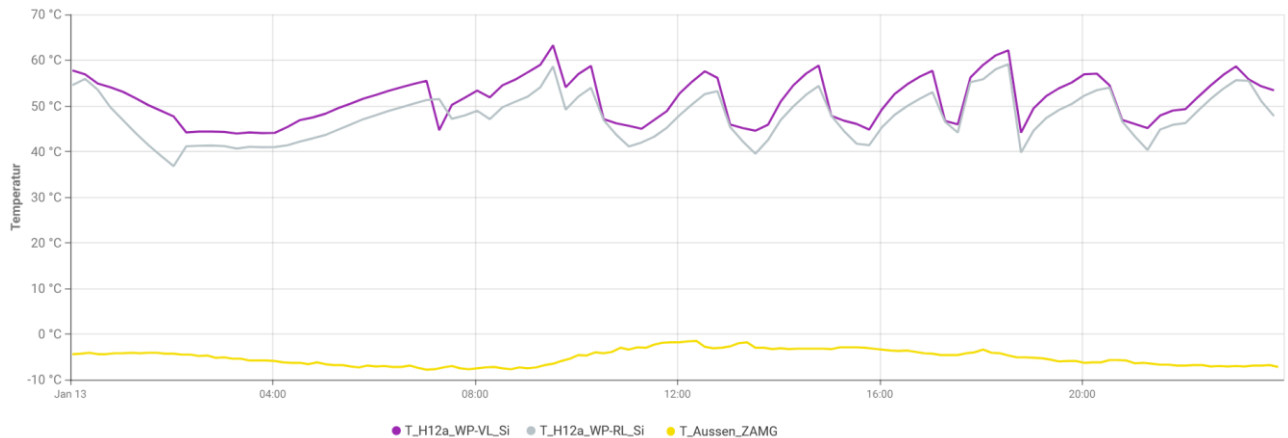


Abbildung 73: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); kältester Wintertag; 5-Minutenwerte

Die Abbildung zeigt den Tagesverlauf eines besonders kalten Wintertags in 5-Minuten-Auflösung. Die Zyklik ist deutlich sichtbar. Trotz Außentemperaturen unter $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ erfolgt keine Heizkennlinienregelung, es wird nur die Anforderung des Warmwasserspeichers bedient.

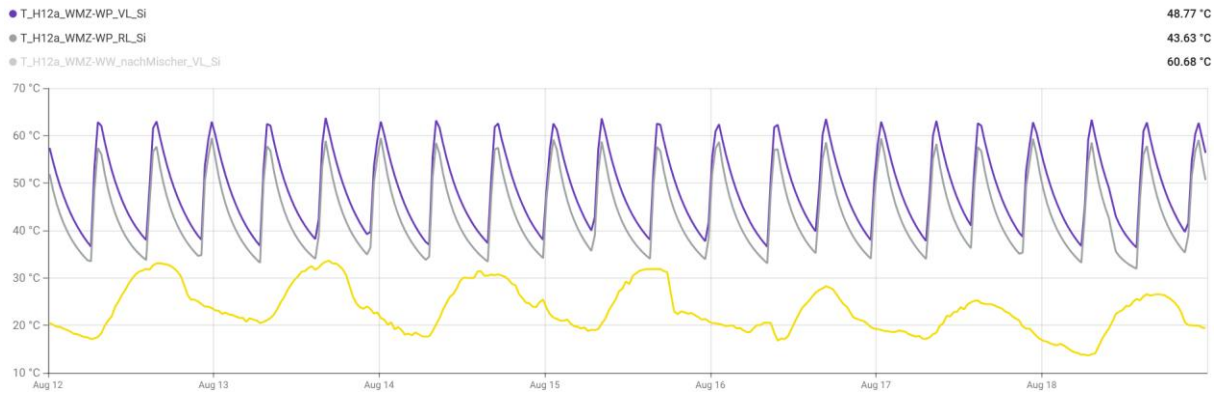


Abbildung 74: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); wärmste Sommerwoche; 30-Minutenwerte

Im Sommerbetrieb läuft die Wärmepumpe nur im Warmwasserbetrieb, die Vorlauftemperaturen (ab Wärmepumpe) liegen wie im Winterbetrieb zwischen 40-60°C.

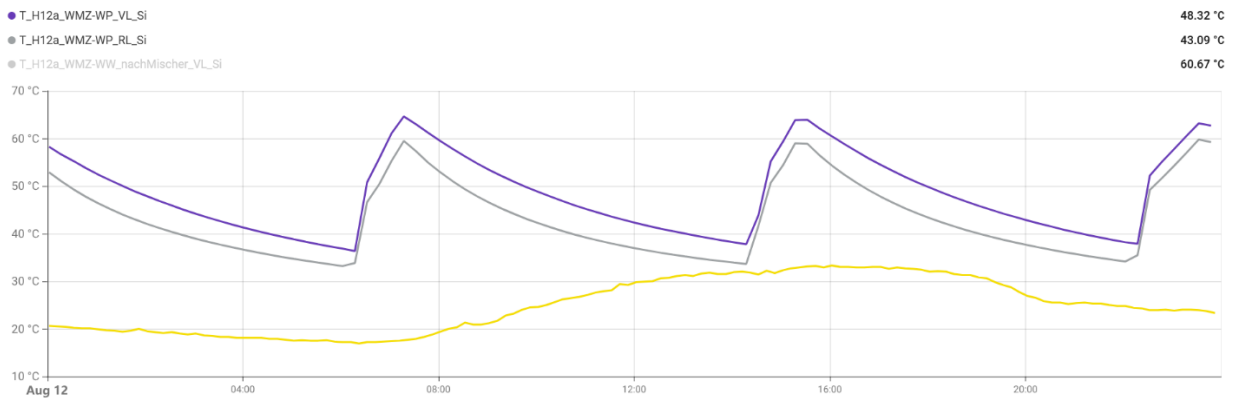


Abbildung 75: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); wärmster Sommertag; 5-Minutenwerte

Die Temperaturverläufe zeigen, dass die Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung dreimal täglich in Betrieb ist. Diese regelmäßige Betriebsweise ist über die gesamte Woche hinweg zu beobachten.

5.2.8 Lade-, Speicher- und Verteilverluste

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

Tabelle 21: Wärmebilanz der Wärmespeicher Haus 12a; 01.06.2024 bis 31.05.2025

	mittlere Leistung	Wärme	spez. Wärme
	kW	kWh/a	kWh/(m ² _{WNFA})
Wärmemenge aus WP in Speicher	4,56	39 946	62,4
Heizstäbe an Speicher	0,23	2 015	3,1
Summe Wärme in Speicher		41 960	65,6
Wärme aus Speicher in WW-Kreis	-2,06	-18 046	-28,2
Wärme aus Speicher in Heizkreis	-1,33	-11 651	-18,2
Summe Wärme aus Speicher		-29 696	-46,4
Differenz = Verlust		12 264	19,2

Die Lade-, Speicher- und Verteilverluste ergeben sich aus der Differenz des Wärmeinputs (Wärme aus Wärmepumpe + Wärmeabgabe der Heizstäbe im Speicher) und des Wärmeoutputs (Wärme aus Speicher in Heizkreis + Wärme aus Speicher in Warmwasserkreis).

Der Wärmeinput in den Speicher beträgt 65,6 kWh/(m²_{WNFA}), der Output 46,4 kWh/(m²_{WNFA}). Die Verluste betragen somit 19,2 kWh/(m²_{WNFA}). Dies ist ein hoher Wert.

Die hohen Verluste entstehen unter anderem aus der Summe der Verluste, die bei fehlender Isolierung der Rohrleitungen auftreten. Die folgenden Bilder sollen dies verdeutlichen:



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



Abbildung 77: Verrohrung Heizungsanlage im Heizungskeller, Haus12a; Foto: Planungsteam E-Plus

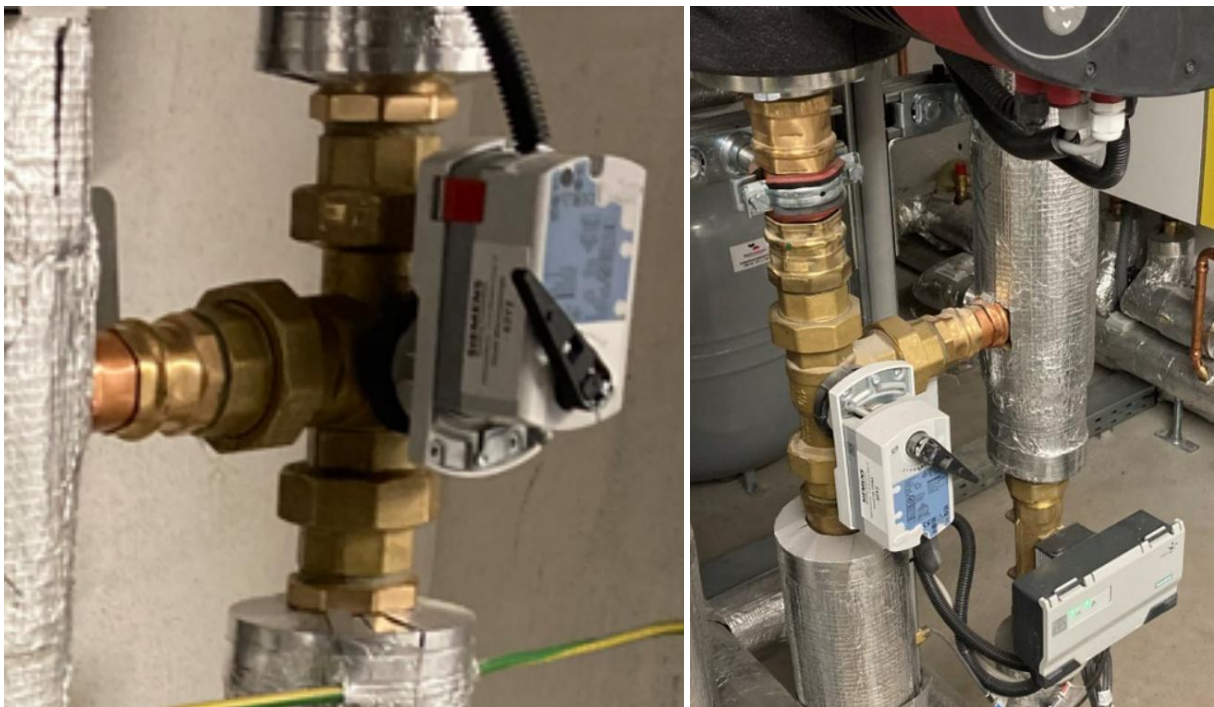


Abbildung 78: Fehlstellen in der Leitungsdämmung, Haus 12a; Fotos: Planungsteam E-Plus

Zum Vergleich zeigen die folgenden Abbildungen die sehr gut ausgeführte, lückenlose Dämmung der Rohrleitungen in einem anderen Projekt.



Abbildung 79: lückenlose Leitungsdämmung in Vergleichsprojekt; Fotos: Planungsteam E-Plus



Abbildung 80: lückenlose Rohrdämmung in Vergleichsprojekt; Foto: Planungsteam E-Plus

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

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

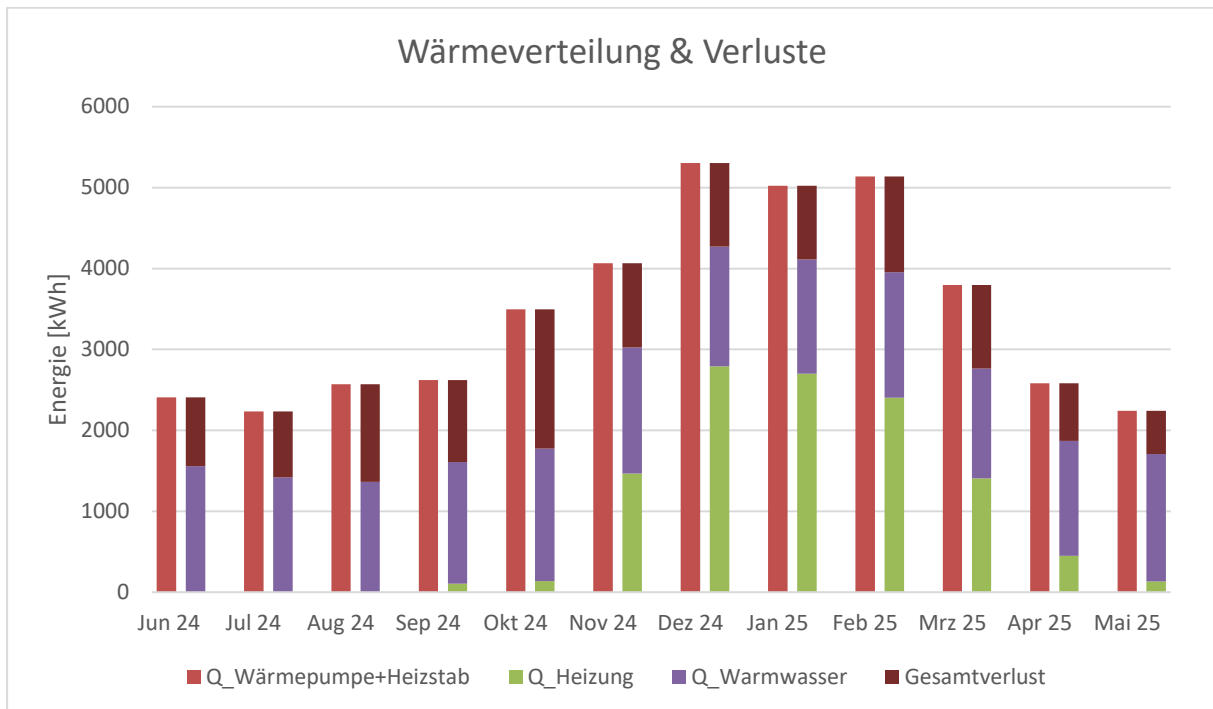


Abbildung 81: Haus 12a, Wärmeverteilung - Verluste

In den Heizmonaten von November bis März 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 bereitet wird. In dieser Zeit entstehen anteilig die höchsten Verluste, da der absolute Nutzwärmeverbrauch gering ist und die Verluste vergleichsweise konstant bleiben.

Tabelle 22: Haus12a, Wärmeströme

	Q_Wärmepumpe	Qel_Heizstab	Q_Heizung	Q_Warmwasser	Verlust	Verlust [%]
Jun 24	2406,55	0,00	2,29	1555,20	849,07	35,28
Jul 24	2234,44	0,00	0,00	1419,33	815,11	36,48
Aug 24	2568,99	0,00	0,00	1365,26	1203,73	46,86
Sep 24	2619,86	0,00	103,67	1504,02	1012,17	38,63
Okt 24	3496,01	0,00	137,52	1639,08	1719,41	49,18
Nov 24	3782,09	284,40	1466,81	1557,85	1041,83	25,62
Dez 24	5274,78	27,36	2789,57	1482,97	1029,59	19,42
Jan 25	4992,92	28,80	2701,26	1412,58	907,88	18,08
Feb 25	5037,79	100,80	2404,85	1548,01	1185,73	23,07
Mrz 25	3219,47	576,00	1405,70	1358,39	1031,38	27,17
Apr 25	1642,90	939,10	448,03	1422,51	711,47	27,55
Mai 25	2243,04	0,00	132,13	1577,23	533,69	23,79

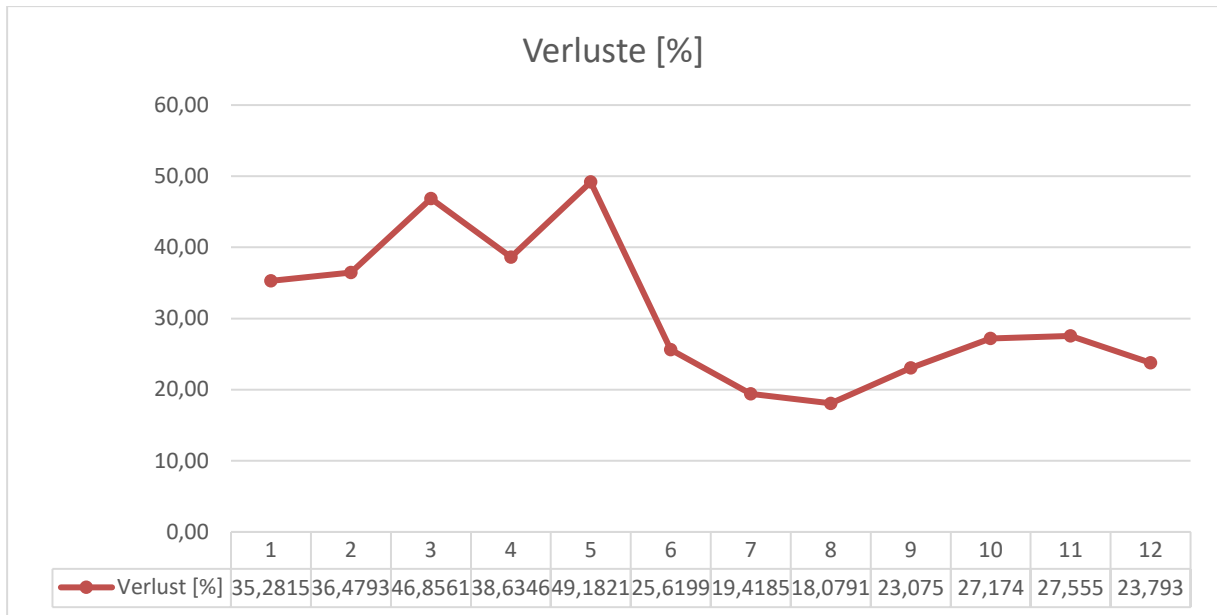


Abbildung 82: Haus 12a, Heizungskeller, Lade,- Speicher- und Verteilverluste in Prozent

Während der Heizperiode von November bis März lagen die mittleren Lade,- Speicher- und Verteilverluste bei etwa 22,7 %. Im Sommerbetrieb (Juni bis Oktober), in dem ausschließlich Warmwasser bereitet wurde, stieg der relative Anteil der Verluste deutlich an und erreichte im Mittel rund 41 %.

Verteilverluste Heizung

Die Verluste der Wärmeverteilung Heizung sind fast vollständig im Heizwärmeverbrauch enthalten, da die Wärmemengenzähler der einzelnen Wohnungen im Keller sind.

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 2024 bis Mai 2025 alle Werte in einem 15 Minuten Raster auf die zapfungsfreien Bereiche eingegrenzt und die Verlustleistung bestimmt. Die Kriterien für den zapfungsfreien 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 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die Werte als Punktwolke dargestellt.

Deutlich zu erkennen ist auch die Reduktion des Durchflusses von $0,8\text{m}^3/\text{h}$ auf $0,2\text{m}^3/\text{h}$ und die damit verbundene Absenkung der Rücklauftemperatur von 56°C auf 50°C .

Jedoch bringt diese Reduktion nicht den gewünschten Effekt der Reduktion der Verteilverluste.

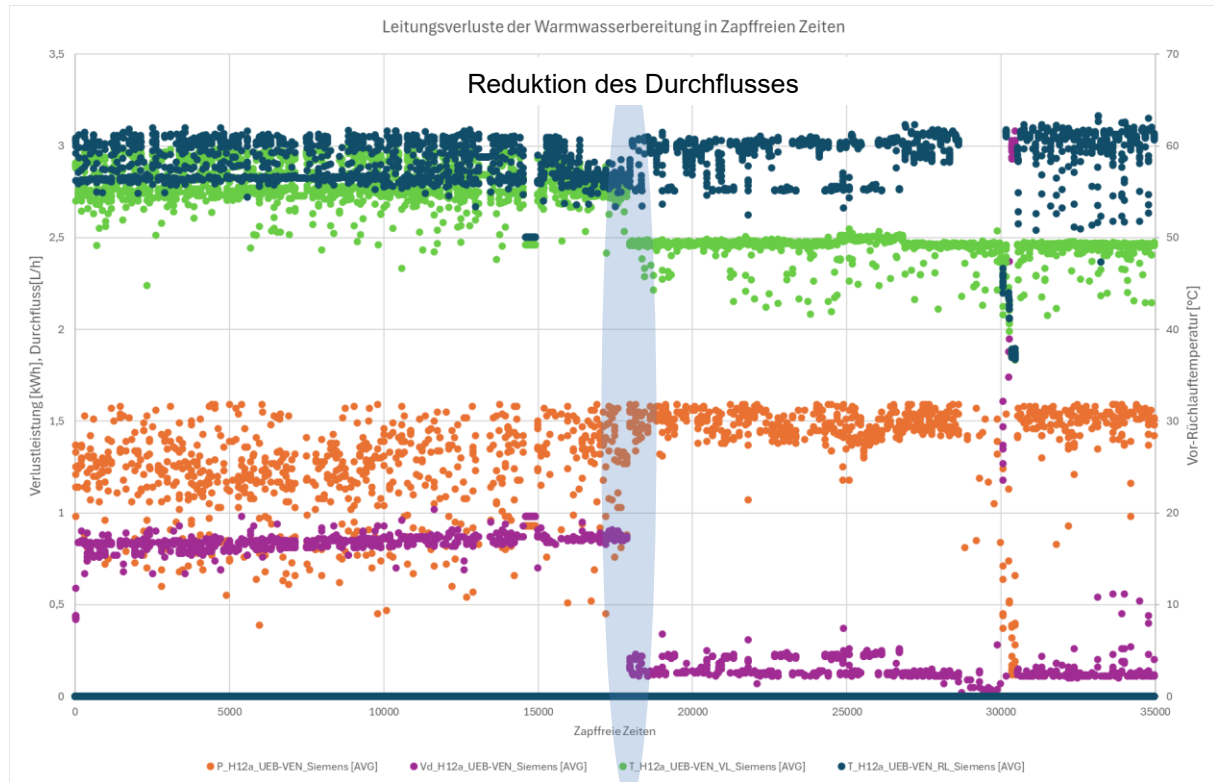


Abbildung 83: Haus 12a, Leistungen, Temperaturen und Durchflüsse der Warmwasserbereitung in der Zapffreien Zeit; Quelle: SüdSan Warmwasser MJ1_15m

Angesichts des Nutzwärmeverbrauchs Warmwasser von $11,2\text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ sind die Verluste der Warmwasserverteilung mit $18,0\text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ relativ hoch. Sie betragen etwa 166% des Nutzwärmeverbrauchs.

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.

Tabelle 23: Angaben zur Höhe der Warmwasser-Verteilverluste

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

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

Die Messwerte der spezifischen Warmwasser-Verteilverluste der Beispielprojekte liegen zwischen 5 und 21,7 kWh/(m²_{WNFA}) 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 Vierleitersystem zeigen, dass auch mit diesem Verteilsystem geringere Verteilverluste erzielt werden können: Eine Sanierung zum Passivhaus in Frankfurt hat mit 7,5 kWh/(m²_{EBFA}) sehr geringe Verluste (Peper, 2011), das Neubauprojekt KliNaWo mit 11,3 kWh/(m²_{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 Leitersystem 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 kWh/(m²_{WNFA}) aus (Jähniq, 2025). Dies entspricht 124% des berechneten Nutzwärmebedarfs für Warmwasser.

Auch die Warmwasser-Verteilverluste in einem hocheffizienten Mehrfamilien-Neubauprojekt in Innsbruck liegen mit 19 kWh/(m²_{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-Leitersystem 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-Leitersystem 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).

5.2.9 PV-Stromerzeugung

Die wichtigsten Daten zur PV-Anlage und zum Jahresertrag im ersten Betriebsjahr sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 24: Kennzahlen und Ertrag der PV-Anlage; Haus 12a

installierte Leistung	25,46	kW _p
Modulfläche	120	m ²
Dachneigung	47	°
Orientierung	14° aus Südrichtung	
Dachneigung	40°	
Jahresertrag	28.144	kWh
spez. Jahresertrag	1.106	kWh/kW _p
wohnflächenspezifischer Ertrag	44,0	kWh/m ² _{WNF}
modulflächenspezifischer Ertrag	235	kWh/m ² _{Modul}
Ertrag pro m ² überbaute Fläche	118,6	kWh/m ² _{überbaute Fläche}

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

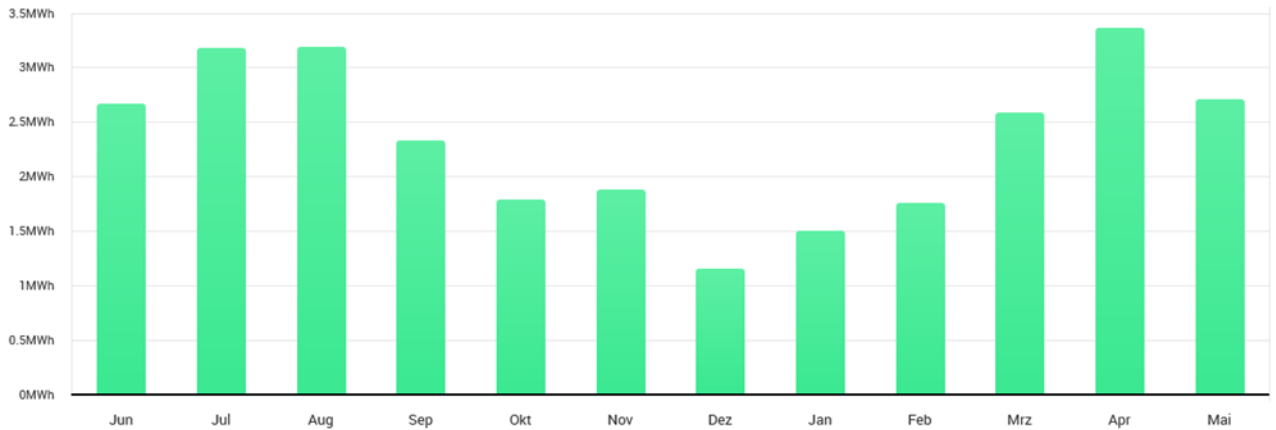


Abbildung 84: Haus 12a, PV-Stromerzeugung, Monatswerte; Quelle: online-Portal Wechselrichterhersteller

Die Photovoltaikanlage mit einer **installierten Leistung von 25,46 kWp** erzielte im Auswertungszeitraum eine **Gesamtstromerzeugung von rund 28.150 kWh**. Damit liegt der jährliche spezifische Ertrag bei **1.106 kWh/kWp**, was einen guten Wert für die Standortbedingungen darstellt.

Die Anlage wurde im ersten 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 zweiter Versuch zur Gründung einer GEA wird im Herbst 2025 unternommen.

Die monatliche Erzeugung folgt dem erwarteten Verlauf: Spitzenwerte treten in den Monaten Juli, August und April mit jeweils 3.200 bis 3.400 kWh auf, während die Erzeugung in den Wintermonaten deutlich niedriger liegt. Der minimale Monatsertrag lag mit 1.160 kWh im Dezember.

Das folgende Bild zeigt die jährliche Energieerzeugung jedes einzelnen Solarmoduls. Dies ist möglich, da für jeweils zwei Module ein „Optimierer“ eingebaut wurde. Durch das Monitoring ist aufgefallen, dass einer dieser Optimierer fehlerhafte Werte anzeigt. Eine Überprüfung wurde veranlasst.

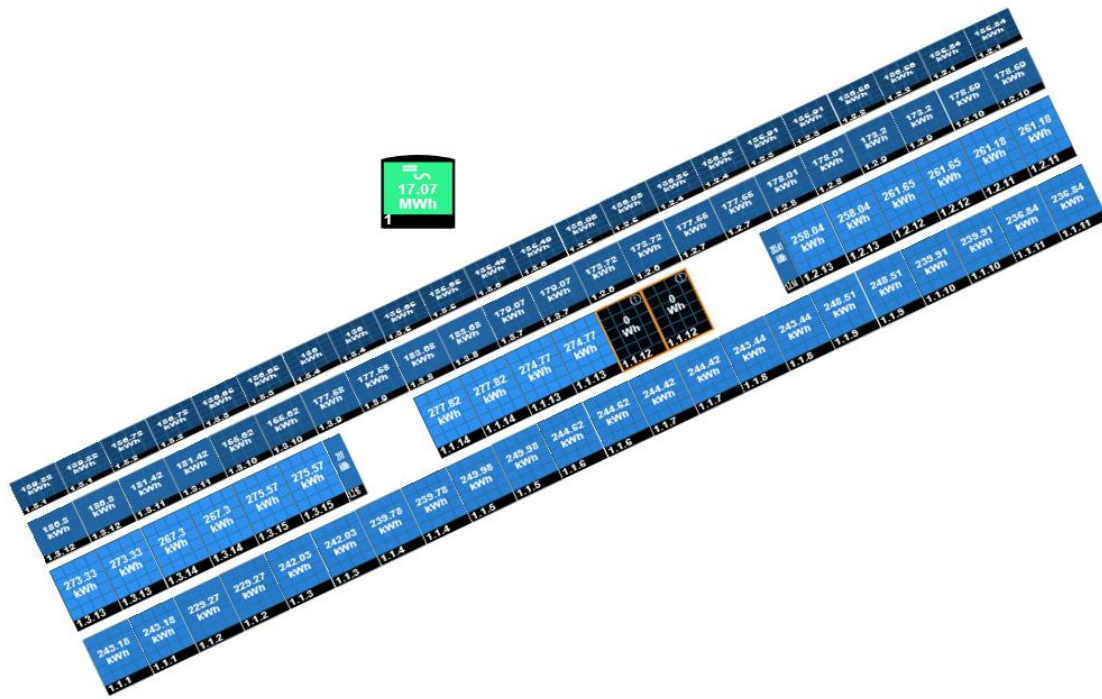


Abbildung 85: Jährliche Stromerzeugung der einzelnen Solarmodule; Haus 12a

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



Abbildung 86: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag; Haus 12a; Monatswerte

Der flächenspezifische PV-Jahresertrag liegt bei 44,0 kWh/(m²_{WNFA}). Er ist damit höher als der gesamte Endenergieverbrauch der Haustechnik, der 34,1 kWh/(m²_{WNFA}) beträgt.

Der Gesamt-Endenergieverbrauch liegt bei 52,5 kWh/(m²_{WNFA}).

5.3 Optimierung der Haustechniksysteme im Betrieb

Während des ersten Betriebsjahrs wurden einige Optimierungen am Wärmeversorgungssystem vorgenommen. Auslöser waren entweder Rückmeldungen einzelner Bewohner oder Analysen der Funktion des Wärmeversorgungssystems auf Grundlage der Monitoringdaten. Die wichtigsten Beschwerden und Optimierungsmaßnahmen werden nachfolgend beschrieben.

5.3.1 Beschwerden der Bewohner

Am Anfang der ersten Heizperiode nach der Sanierung gingen einige Beschwerden der Bewohner bei der Alpenländischen ein. Sie betrafen in zwei Wohnungen die Warmwasserbereitung und in vier Wohnungen das Temperaturniveau in einzelnen oder mehreren Räumen. Die relevanten Beschwerden, die zu technischen Veränderungen und/oder regelungstechnischen Änderungen führten, sind nachfolgend zusammengefasst.

Beschwerde Bewohner Wohnung Hainbuche vom 18.11.2024

„Das Warmwasser ist seit November 2024 nicht warm genug, vorher gab es keine Probleme.“
Die Überprüfung der Zapftemperaturen am 24. Januar 2025 ergab die folgenden Werte:

Waschtisch Badezimmer:	in Teillast 39,1 - 40,0°, bei Volllast 38,2 - 39,6°C
Dusche:	in Teillast und Volllast 35,1 - 36,5°C,
Küche:	in Teillast 35,3 - 38,9°C, in Volllast 38,7 - 40,5°C

Beschwerde Bewohner Wohnung Erle vom 18.11.2024:

„Das Warmwasser ist seit November 2024 nicht warm genug, vorher gab es keine Probleme.“
Die Überprüfung der Warmwassertemperaturen am 24.01.2025 ergab die folgenden im Wasserstrahl gemessenen Werte:

Waschtisch Badezimmer:	in Teillast 38,1 - 46,0°, bei Volllast 37,2 - 38,4°C
Badewanne:	in Teillast 42,0 - 43,5°C
Dusche:	in Volllast 32,1 - 33,5°C,
Küche:	in Teillast 42,1 - 43,7°C, in Volllast 40,4,7 - 41,3°C

Da die Überprüfung die Angaben der Bewohner bestätigte und die Zapftemperaturen um etwa 5 K, in der Dusche der Wohnung Erle sogar um etwa 10K unter dem Soll-Wert lag und da in

den anderen Wohnungen keine Probleme auftauchten, wurde ein hydraulischer Abgleich der Frischwasserstationen durchgeführt – siehe Kapitel 5.3.2. Dieser war ausgeschrieben, in Rechnung gestellt und bezahlt worden, wurde jedoch bei Fertigstellung nicht oder nicht richtig ausgeführt.

Beschwerden der Mieter der Wohnungen Tanne, Erle, Hainbuche und Ulme Ende November 2024

„Die Wohnungen sind seit etwa 2 Wochen nicht warm genug.“

Detailanalyse der Temperaturverläufe in der Wohnung Tanne

Die Beschwerde über die zu niedrigen Raumlufttemperaturen wurde exemplarisch an den Temperaturen in der Wohnung Tanne analysiert. Die Wohnung Tanne befindet sich im ersten Geschoß des Gebäudes.

Das Problem mit zu kalten Räumen besteht gemäß mail der Alpenländischen bereits seit Oktober 2024. Aus der Mail geht nicht hervor, wie oft, wann und in welchen Wohnungen/Räumen. Aus Anlass dieser Beschwerde wurden die Raumlufttemperaturen der Wohnung Tanne für den 03.12. und den 04.12.24 sowie für eine kalte Woche Ende November mit Außenlufttemperaturen bis $-2,1^{\circ}\text{C}$ auf Basis der Monitoringdaten analysiert. Darüber hinaus wurden auch die Raumlufttemperaturen in den gemäß Simulation kritischsten Räumen im Erdgeschoss überprüft. Dies sind die an das Treppenhaus grenzenden, nordwestorientierten Räume in den Wohnungen „Ahorn“ und „Birke“. Die Temperatur im kritischen Raum im EG haben Einfluss auf die Temperatur des darüber liegenden kritischen Raums der Wohnung Tanne.

Folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf in den beiden kritischen EG-Räumen in der Woche vom 19.11.24 bis zum 26.11.24.

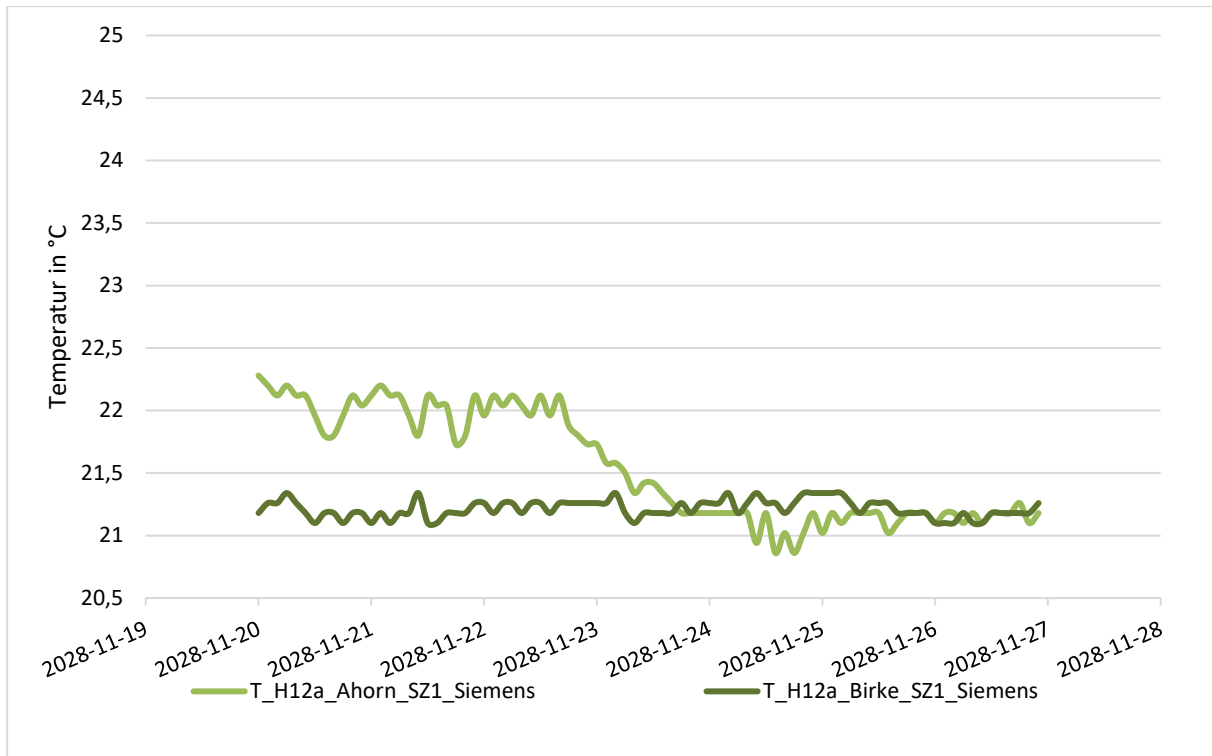


Abbildung 87: Messwerte kritische Räume im EG (Schlafzimmer Nord neben Treppenhaus)

Man erkennt, dass die Temperaturen im kritischen Raum der Wohnung Birke zwischen etwa 21,1 und 21,4°C pendeln und dass im kritischen Raum in Wohnung Ahorn kurzfristig ein Minimalwert von 20,8°C erreicht wird. Unterstellt man, dass das Raumthermostat immer auf „an“ ist, dann würde die Vorlauftemperatur nicht genügen um die in der Simulation gewählte Solltemperatur von 22°C zu erreichen. Die in der Siemens-MSR hinterlegte Soll-Raumlufttemperatur ist 21°C, sie kann von den Bewohnern an der Raumthermostaten um +/- 3K verändert werden. Dieser Wert wird nur in der Wohnung „Ahorn“ kurzfristig minimal unterschritten. Die gemessenen Raumlufttemperaturen stimmen gut den Simulationsergebnissen überein: Auch diese sagen aus, dass in den beiden kritischen EG-Räumen die Solltemperatur (von 22° in der Simulation) kurzzeitig knapp unterschritten wird. Daher sind im Energiekonzept in den zwei kritischen Räumen im EG klein dimensionierte IR-Paneele zusätzlich zur Wandheizung vorgesehen. Diese wurden zunächst nicht ausgeführt, um zu testen, ob die Temperierung allein über die Wandheizung zu behaglichen Temperaturen führt.

Die folgende Abbildung zeigt die Raumlufttemperaturen aller Räume in der Wohnung Tanne in der Woche vom 19.11. bis zum 26.11.24 sowie die Außenlufttemperatur.

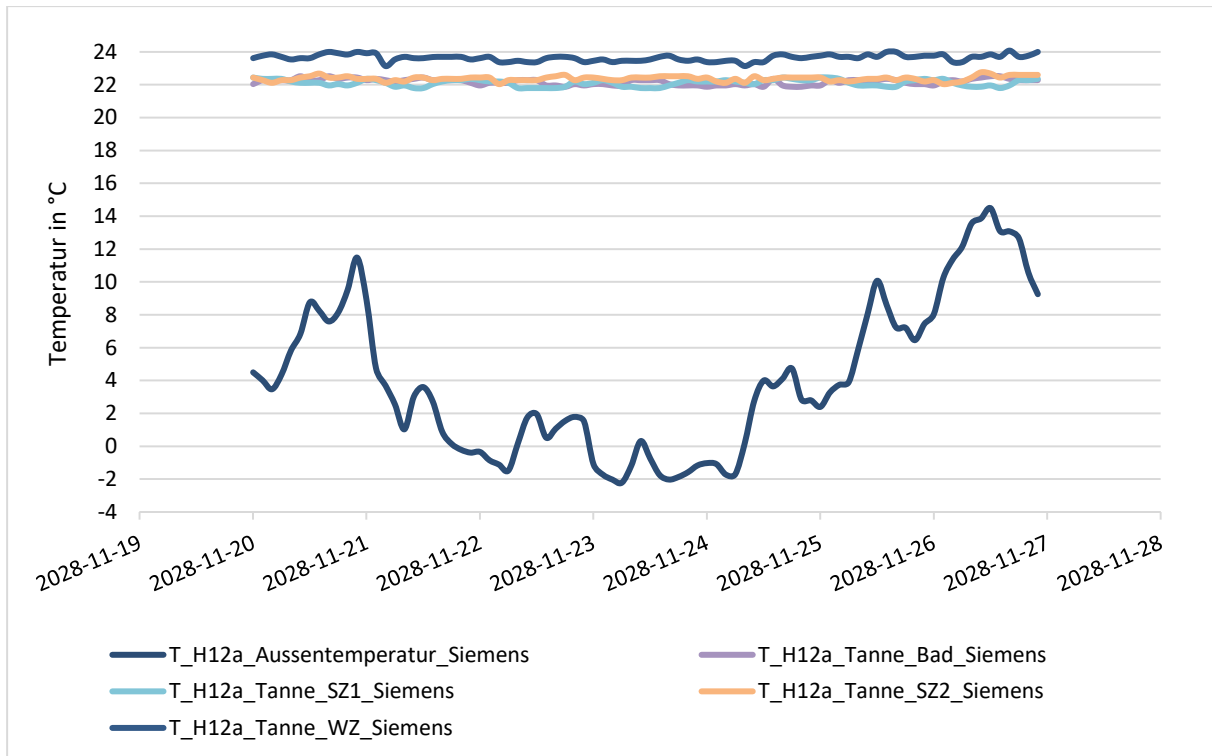


Abbildung 88: Messwerte der Raumlufttemperaturen Top 4 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – mit Darstellung der Außenlufttemperatur. Datenquelle: Siemens MSR

Wie zu erkennen, liegt die Außenlufttemperatur am Anfang der dargestellten Periode bei bis zu 12°C, sinkt dann auf Werte bis etwa -2,1°C um am Ende der Periode auf knapp über 14°C zu steigen.

Die Raumlufttemperaturen werden in der folgenden Abbildung genauer dargestellt, dazu wird die Außenlufttemperatur ausgeblendet.

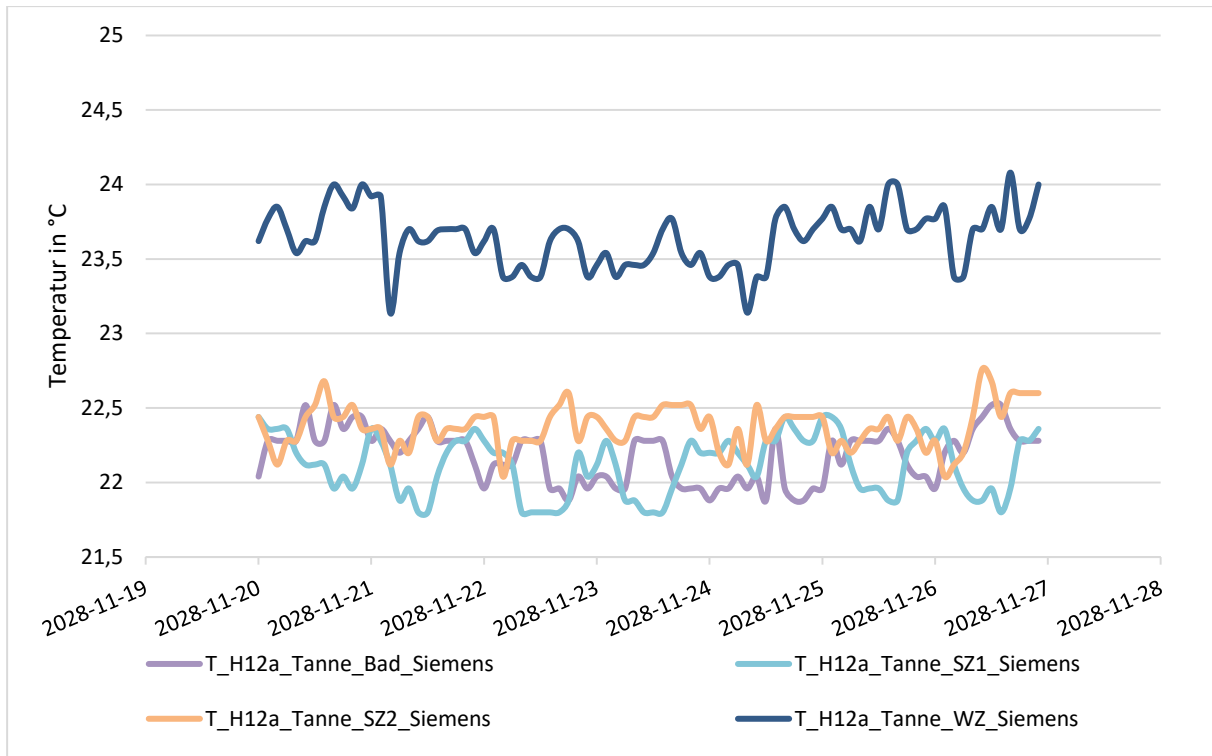


Abbildung 89: Messwerte der Raumlufthemperaturen Top 4 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – ohne Darstellung der Außentemperatur. Datenquelle: Siemens MSR

Die Raumlufthemperaturen im Wohnzimmer liegen – unabhängig von der stark schwankenden Außentemperatur – in einem Bereich von 23,1 bis 24,1°C.

Die Raumlufthemperaturen in den drei anderen Räumen liegen – ebenfalls unabhängig von der Außentemperatur zwischen etwa 21,8 und 22,8°C.

In der folgenden Abbildung sind die Verläufe der Raumlufthemperaturen der drei kühleren Zimmer von Wohnung Tanne sowie der Außentemperatur gemäß Simulation dargestellt.

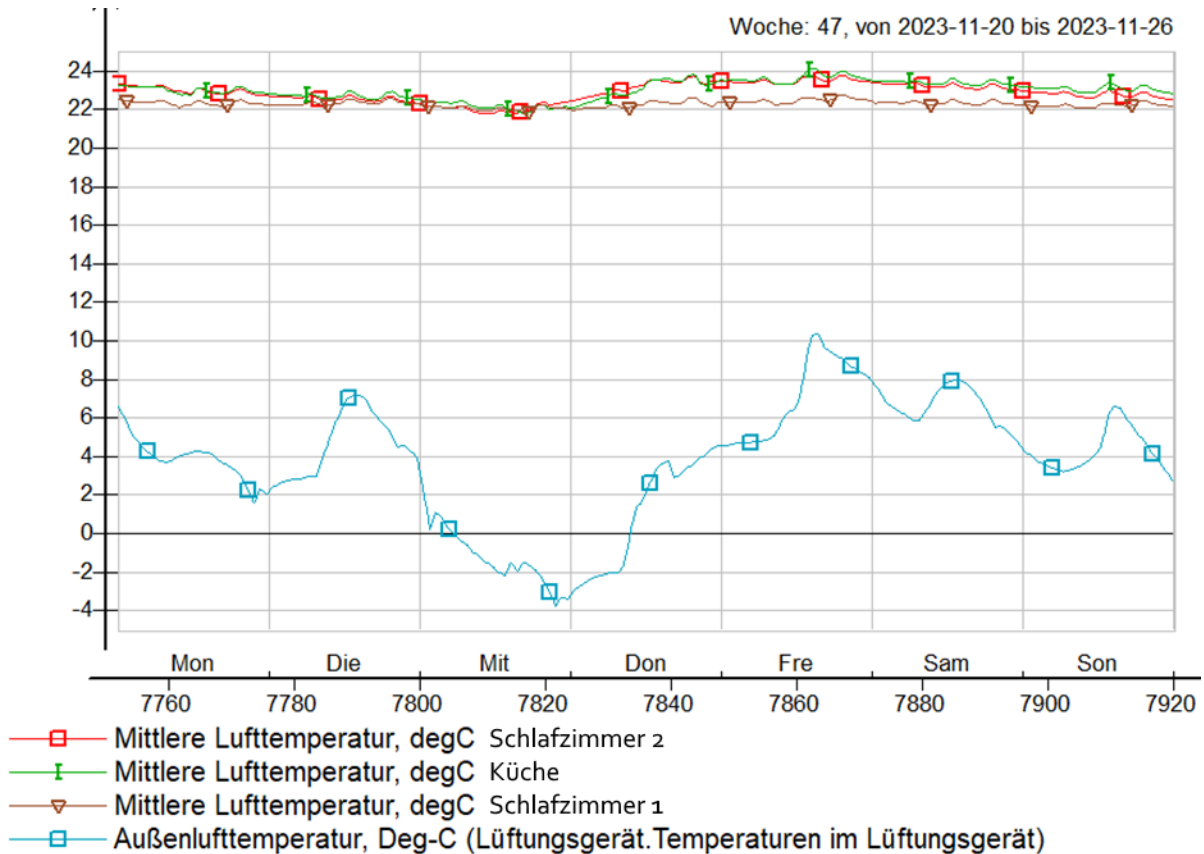


Abbildung 90: Raumlufthtemperaturen in Wohnung Tanne vom 19.11. bis zum 26.11. mit Darstellung der Außenlufttemperatur; Quelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019)

Zu erkennen ist, dass der Verlauf der Außenlufttemperatur im Meteonorm-Klimadatensatz dem gemessenen Temperaturverlauf sehr ähnlich ist. Da der für die Simulation verwendete Klimadatensatz synthetisch erzeugt wurde und das mittlere Standortklima für den Standort in Bludenz für die Jahre 2000 bis 2019 beschreibt, ist die gute Übereinstimmung der Klimadaten für die dargestellte Woche Ende November ein „Zufall“.

Wie für die gemessenen Temperaturen wird zur genaueren Analyse der Raumlufthtemperaturen in der folgenden Abbildung die Außenlufttemperatur ausgeblendet.

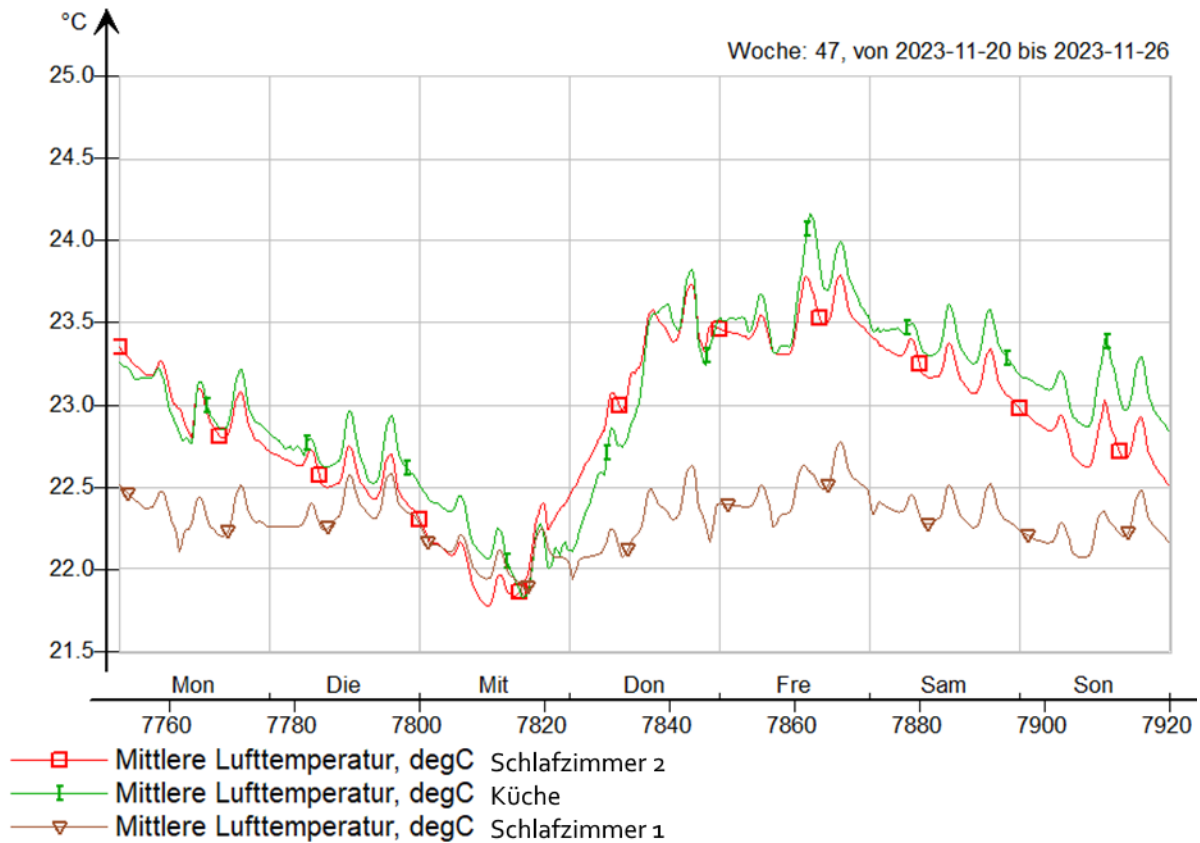


Abbildung 91: Raumlufttemperaturen in Wohnung Tanne vom 19.11. bis zum 26.11. ohne Darstellung der Außenlufttemperatur; Quelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019)

Wie die Abbildung verdeutlicht, stimmen die in der Simulation für die drei kühleren Räume der Wohnung bestimmten Temperaturen sehr gut mit den gemessenen Werten überein.

Die Werte für Schlafzimmer 1 liegen bei etwa 21,8 bis 22,7°C, die für Schlafzimmer 2 bei 21,8 bis 23,7°C. Die Temperatur in der Küche liegt laut Simulation zwischen 21,9 und 24,1°C.

Die folgende Abbildung zeigt die Temperatur des kritischen Raums von Wohnung Tanne gemäß Siemens-Monitoring.

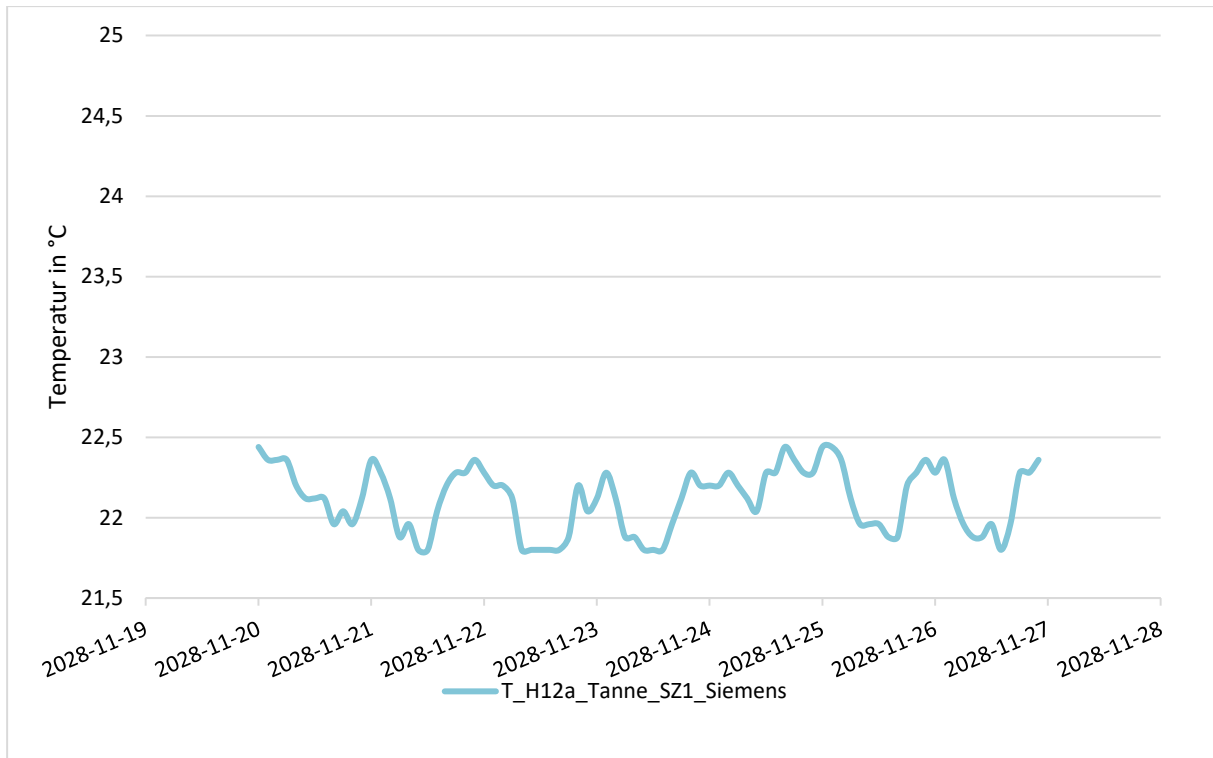


Abbildung 92: Messwerte der Raumlufttemperaturen in der Wohnung Tanne, Schlafzimmer 1 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – ohne Darstellung der Außentemperatur. Datenquelle: Siemens MSR

Die Messwerte der Raumlufttemperatur in Schlafzimmer 1 liegen zwischen 21,8°C und 22,4°C. Sie stimmen damit sehr gut mit den Werten lt. Simulation überein.

Es fällt auf, dass die Temperaturen in der Nacht leicht absinken. Eine Analyse der Regelungseinstellungen in der Siemens-MSR zeigt, dass eine nicht vorgesehene und in der Simulation nicht berücksichtigte Nachtabsenkung programmiert wurde.

Folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf für den gleichen Raum als Ergebnis der Simulation.

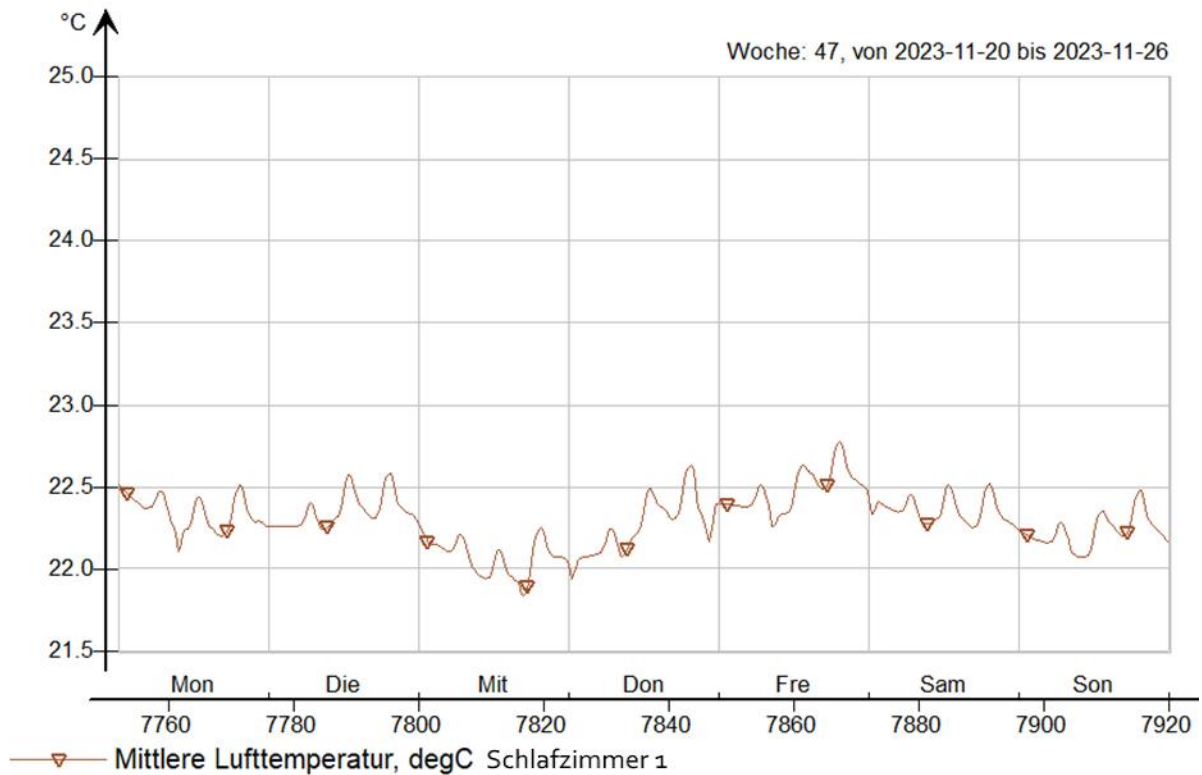


Abbildung 93: Raumlufthtemperaturen Wohnung Tanne, Schlafzimmer 1 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – ohne Darstellung der Außentemperatur. Datenquelle: Dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019)

In der Simulation ergeben sich Raumlufthtemperaturen zwischen 21,9 und 22,8°C. Die Werte stimmen damit sehr gut mit den gemessenen Raumlufthtemperaturen überein. Eine Nachtabsenkung wurde in der Simulation nicht berücksichtigt, da sie bei der Trägheit des Wärmeabgabesystems nicht sinnvoll erscheint.

Die folgende Abbildung zeigt die Energiebilanz für die Wohnung Tanne, Schlafzimmer 1 für die gleiche Periode als Ergebnis der Simulation.

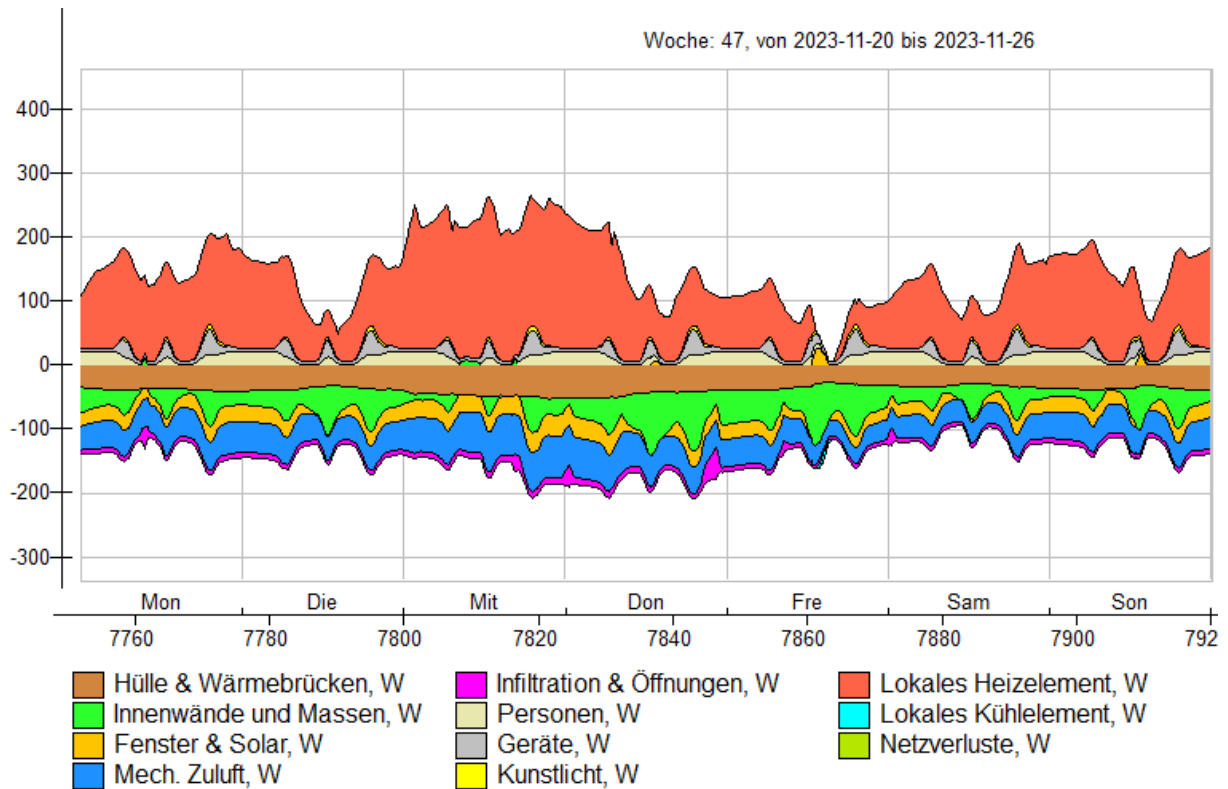


Abbildung 94: Energiebilanz Wohnung Tanne, Schlafzimmer 1 vom 19.11. bis zum 26.11.; Datenquelle: Dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019)

In der Energiebilanz erkennt man am roten Bereich, dass die Wandheizung („Lokales Heizelement“) kontinuierlich Wärme abgibt, dass der Raumthermostat durchgängig auf Heizbetrieb ist.

Der konstante Temperaturverlauf in der Messung lässt vermuten, dass das Raumthermostat auch im Realbetrieb immer auf „Heizen“ steht.

Die folgende Abbildung zeigt die Vorlauftemperaturen gemäß MSR Siemens.

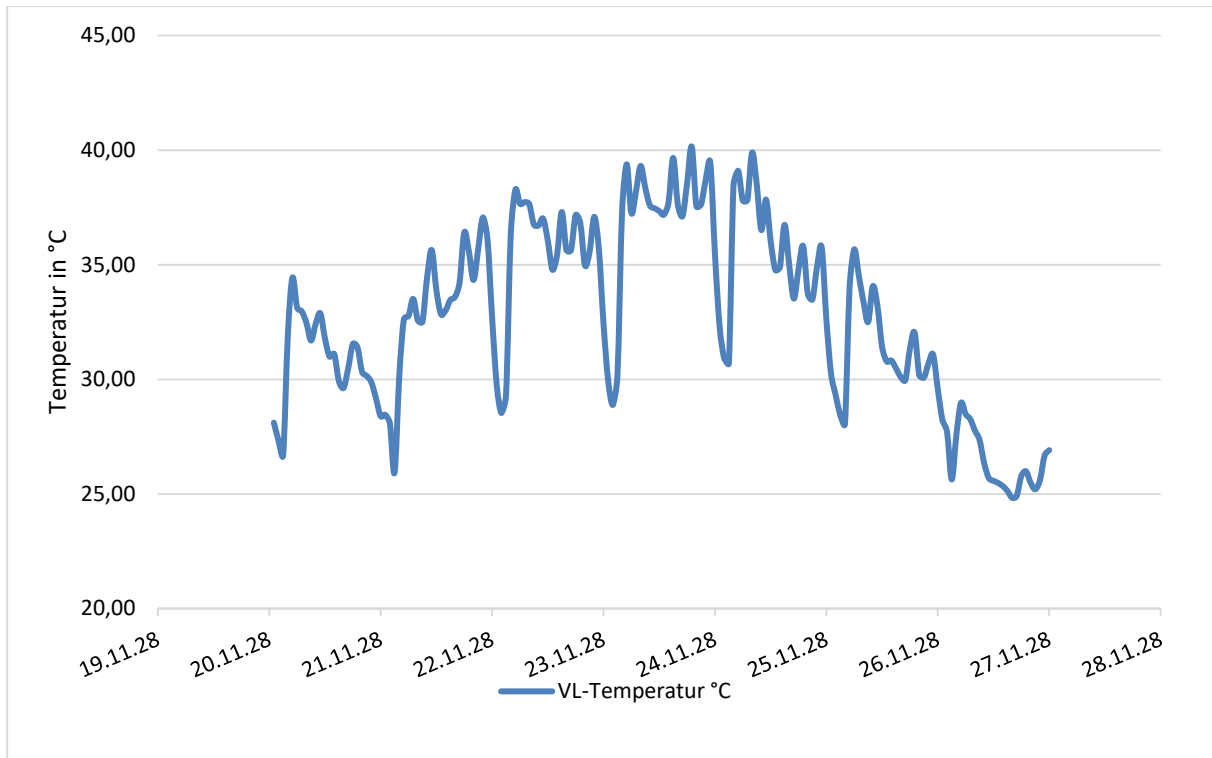


Abbildung 95: Verlauf der Vorlauftemperaturen vom 19.11. bis zum 26.11.24; Datenquelle: MSR Siemens

Während der dargestellten Periode lagen die Vorlauftemperaturen nach dem Mischer im Heiztechnikraum zwischen 25 und 40°C. Die höchsten Vorlauftemperaturen traten wie zu erwarten an den kältesten Tagen und Nächten auf, in denen die Außenlufttemperatur auf bis zu - 2,1°C sank.

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Vorlauftemperaturen gemäß Simulation.

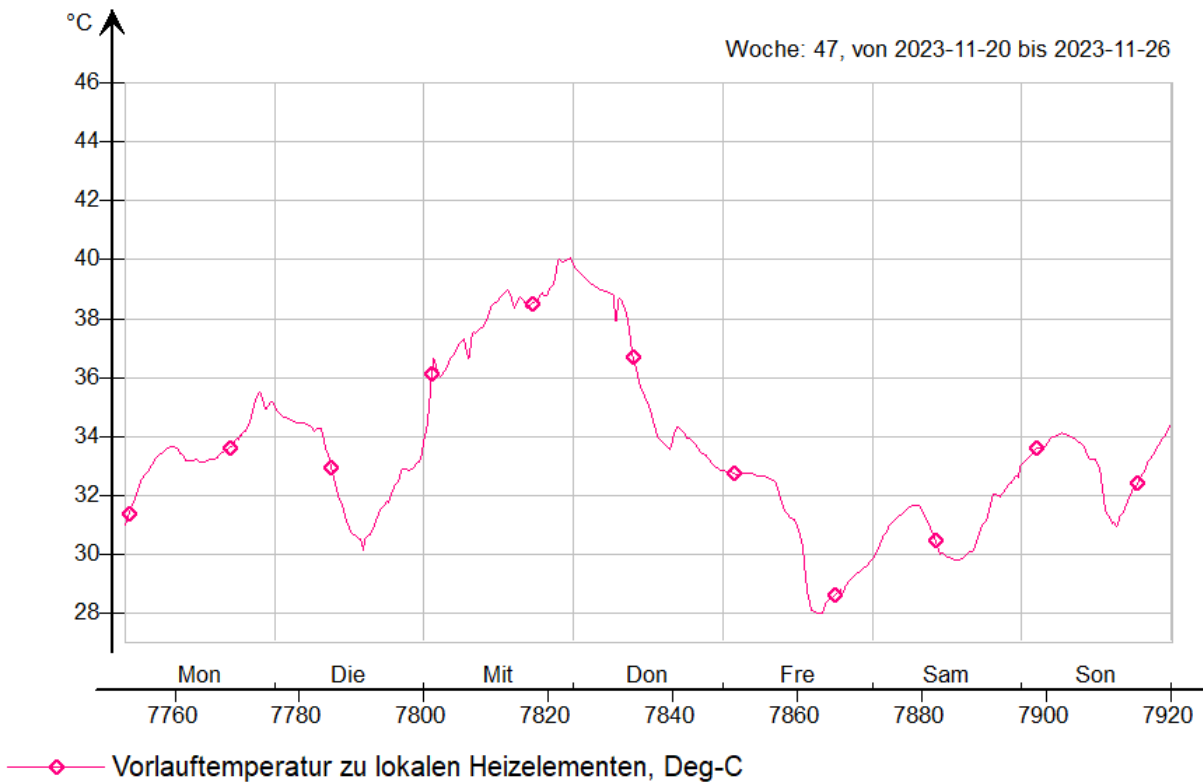


Abbildung 96: Verlauf der Vorlauftemperaturen vom 19.11. bis zum 26.11.; Datenquelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019)

In der Simulation ergeben sich bei ähnlichem Verlauf der Außenlufttemperaturen sehr ähnliche Vorlauftemperaturen von 28 bis 40°C.

Die folgende Abbildung zeigt die Messwerte der gemessenen Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur.

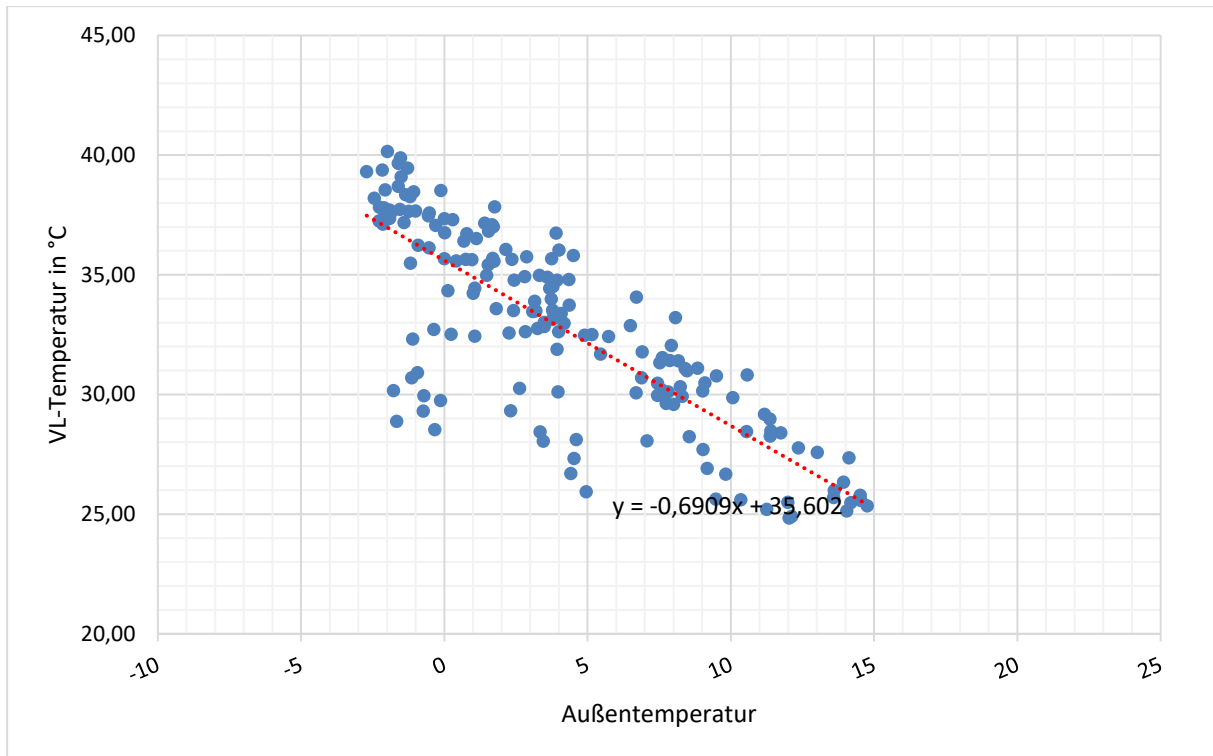


Abbildung 97: Messwerte der Vorlauftemperatur vom 19.11. bis zum 26.11.24 in Abhängigkeit von der Außentemperatur; Datenquelle: MSR Siemens

Der Großteil der Messwerte der Vorlauftemperatur folgt sehr gut der in der Simulation bestimmten und in der MSR hinterlegten Heizkurve. Allerdings weichen einige Messwerte deutlich nach unten von der Kurve ab. Eine detaillierte Analyse der in der MSR hinterlegten Heizkurve zeigt, dass diese eine nicht vorgesehene Nachtabsenkung enthält. Diese ist für das gewählte, sehr träge Wärmeabgabesystem nicht sinnvoll.

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Messwerte der Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur, jedoch bereinigt um die Zeiträume mit Nachtabsenkung.

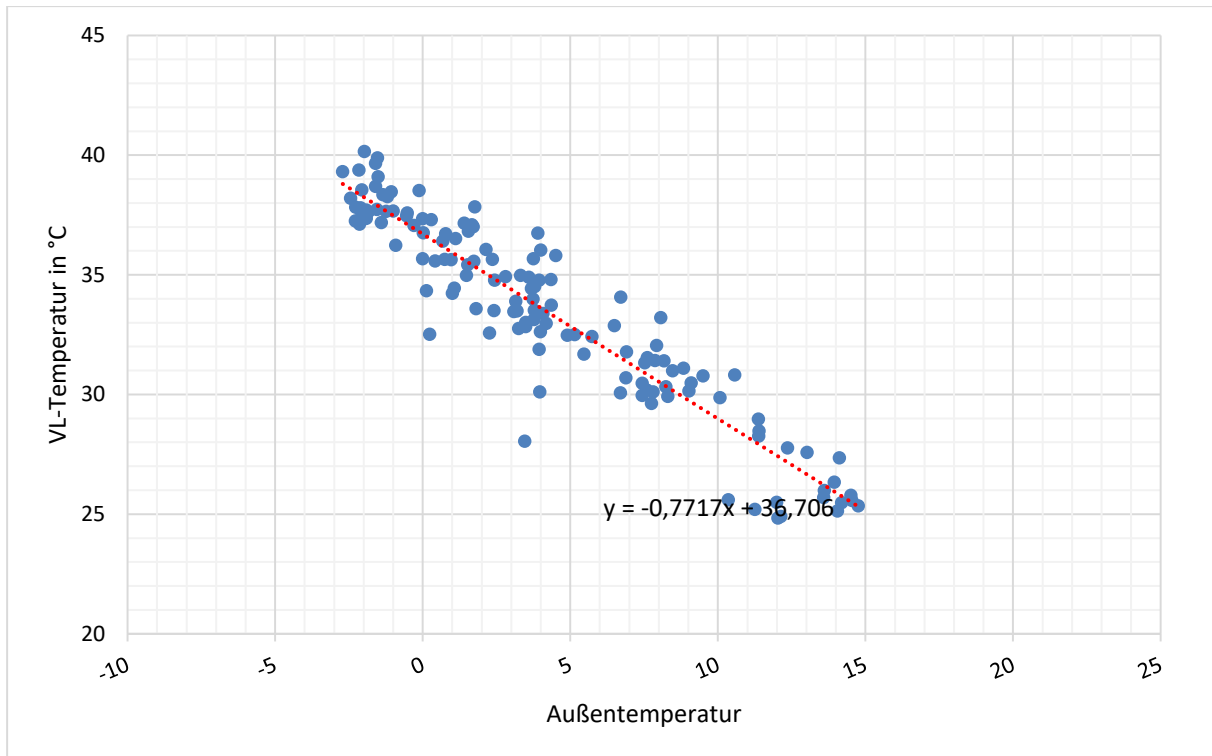


Abbildung 98: Messwerte der Vorlauftemperatur vom 19.11. bis zum 26.11.24 in Abhängigkeit von der Außentemperatur; ohne Darstellung der Zeiträume mit Nachtabsenkung; Datenquelle: MSR Siemens

Wie die Abbildung verdeutlicht, entsprechen die Messwerte der Vorlauftemperatur gut dem Verlauf der strichliert dargestellten realen Heizkurve. Diese entspricht wiederum gut der in der Simulation zugrunde gelegten Heizkurve – siehe nächste Abbildung.

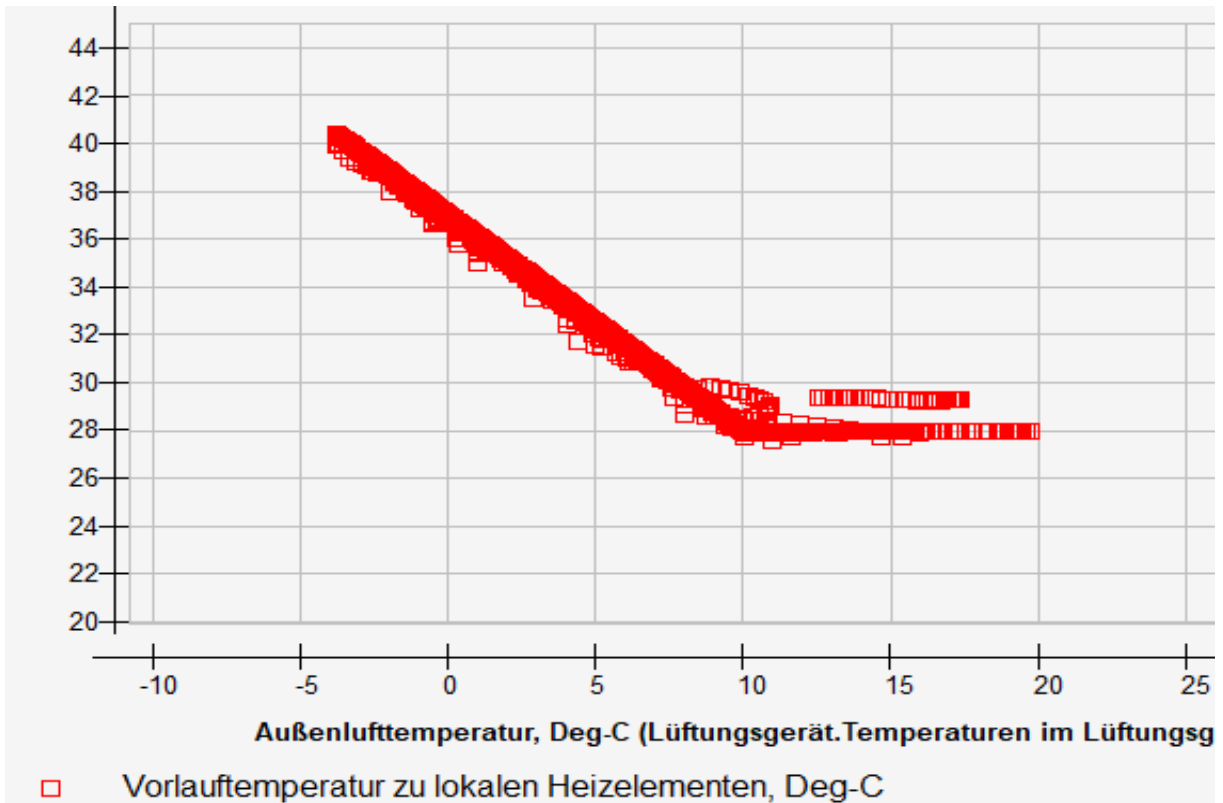


Abbildung 99: Vorlauftemperatur vom 19.11. bis zum 26.11. in Abhängigkeit von der Außentemperatur; Datenquelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; eine Nachtabsenkung ist in der Simulation nicht vorgesehen

Der Vergleich der beiden vorigen Abbildungen zeigt, dass die gemessene Heizkurve (ohne Nachtabsenkung) sehr gut der simulierten entspricht.

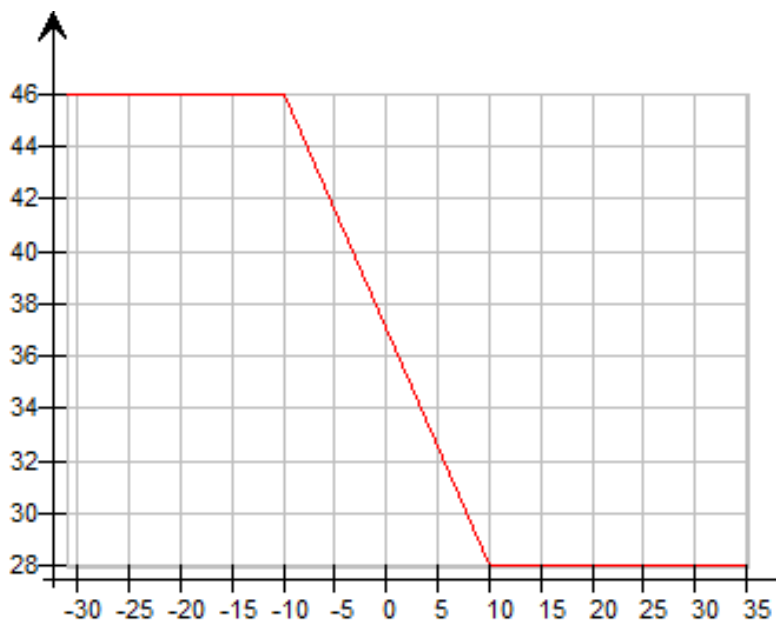


Abbildung 100: Heizkurve als Ergebnis der Simulation

Wie die Abbildung zeigt, wurde auf Basis der Simulationsergebnisse eine Heizkurve vorgegeben, die die Vorlauftemperatur im Heizfall bei Außenlufttemperaturen von mehr als +10° auf 28°C und bei einer Außentemperatur von -10°C oder kälter auf 46°C regelt.

In Abstimmung zwischen Energieinstitut Vorarlberg, Siemens und dem Haustechnikplaner wurde die Vorlauftemperatur bei -10°C auf 44 statt auf 46°C eingestellt, um zu testen, ob auch diese Einstellung behagliche Raumlufttemperaturen ermöglicht. Sollte dies nicht der Fall sein, so soll die Vorlauftemperatur auf 46°C erhöht werden.

Tabelle 25: Vorgaben für die Einstellungen der Heizkurve in der Siemens MSR

Außentemperatur	Vorlauftemperatur
-10°C	44°C
0°C	36°C
+10°C	28°C
über +10°C	28°C

Wie die folgende Abbildung zeigt, wurde der Wert für die VL-Temperatur bei über +10°C auf 26° statt auf 28°C eingestellt.

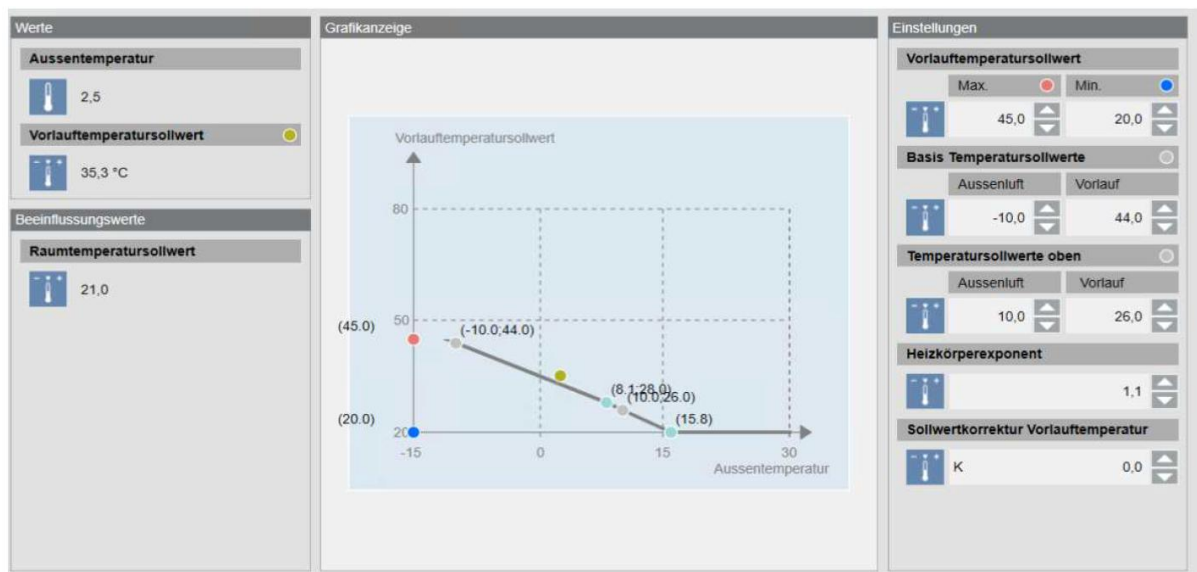


Abbildung 101: Heizkurve und weiter Regelungseinstellungen, Haus 12; Quelle: Siemens Navigator

Resumé Heizkurve:

Die in der MSR hinterlegte Heizkurve stimmt gut mit der auf Basis der Simulation bestimmten Heizkurve überein

- Abweichung 1: in der MSR ist eine Nachtabsenkung oder Nachabschaltung hinterlegt. Dies war für das Gebäude nicht vorgesehen.
- to do Siemens: in einem ersten Schritt sollte die auf die nicht vorgesehene Nachtabsenkung / Nachabschaltung verzichtet werden.
- Abweichung 2: wie beschrieben wurde die max. Vorlauftemperatur bewusst auf 44 statt auf 46°C eingestellt
- to do Siemens: sollte der Verzicht auf die Nachtabsenkung / Abschaltung nicht ausreichen, so könnte die VL-Temperatur in einem zweiten Schritt auf 46°C erhöht werden.
- Abweichung 3: die VL-Temperatur bei +10°C wurde auf 26 statt auf 28°C eingestellt

Resumé Raumluffttemperaturen im kritischen Raum von Wohnung Tanne

- Das Monitoring zeigt, dass im kritischen Raum mit der in der MSR hinterlegten Heizkurve Raumluffttemperaturen von 21,8 bis 22,4°C erreicht werden. Dieser Temperaturbereich stimmt gut mit den in der Simulation bestimmten Werten überein. Die Messergebnisse und deren gute Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen lassen erwarten, dass ähnliche Raumluffttemperaturen auch bei niedrigeren Außentemperaturen erreicht werden. Deutlich höhere Raumluffttemperaturen sind mit der derzeitigen Heizkurve wahrscheinlich nicht möglich. Dies deckt sich mit der Simulation. Möchte die Alpenländische den Mietern höhere Raumluffttemperaturen ermöglichen, so sollte zunächst auf die Nachtabsenkung verzichtet werden. In einem zweiten Schritt könnte die Vorlauftemperatur von max. 44 auf 46°C erhöht werden.
- In den zwei kritischen Räumen im EG (Nord neben Treppenhaus) treten Raumluffttemperaturen 21,1 und 21,4°C und im kritischen Raum in Wohnung Ahorn kurzfristig ein Minimalwert von 20,8°C auf. Dies deckt sich mit den Simulationsergebnissen, weshalb dort IR-Paneele vorgesehen waren. Möchte die Alpenländische den Mietern höhere Temperaturen ermöglichen, so sollten in den beiden kritischen Räumen klein dimensionierte IR-Paneele installiert werden.

Als Sofortmaßnahme nach der Beschwerde wurde die Heizungspumpe am 18. November 2024 auf Konstantdruck umgestellt und die Förderhöhe wurde angepasst.

Die folgende Abbildung zeigt die Auswirkung der Neueinstellung der Heizungspumpe auf ihre Leistungsaufnahme.

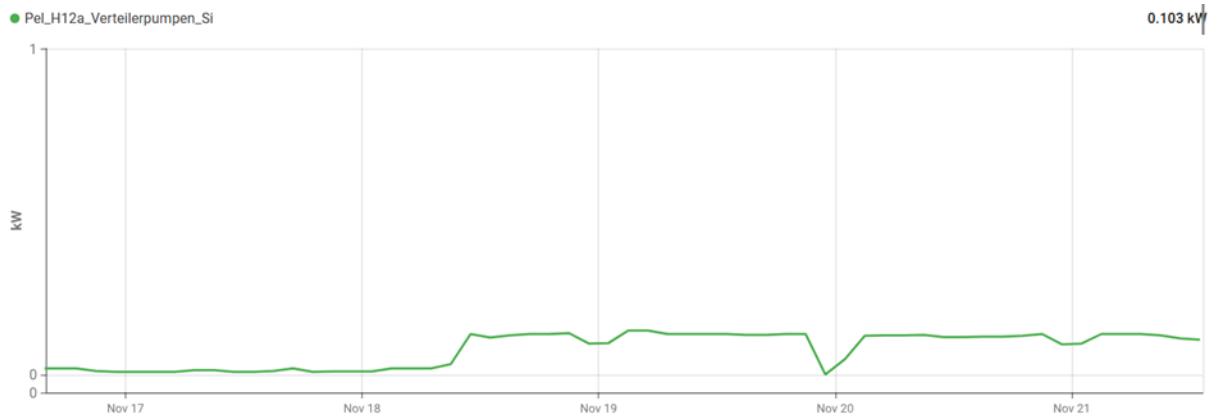


Abbildung 102: Verlauf der Leistungsaufnahme vom 17. bis zum 21. November 2024

Die Verteilerpumpen hatten bis zum 18. November 2024 eine Leistungsaufnahme von etwa 60 bis 70 W, danach von etwa 170 bis 180 W.

5.3.2 Hydraulischer Abgleich Frischwasserstationen

Aufgrund der in zwei Wohnungen festgestellten, zu niedrigen Warmwasser-Zapftemperaturen (Kapitel 5.3.1) und der durchgehend zu hohen Rücklauftemperaturen (bei Nichtzapfung) wurde ein weiterer hydraulischer Abgleich der Frischwasserstationen durchgeführt.

Da der hydraulische Abgleich aus Termin- und Kapazitätsgründen nicht wie geplant durch den Servicetechniker der Herstellerfirma durchgeführt werden konnte, wurde er am 07.03.25 durch den Monteur der Installationsfirma durchgeführt.

- Der Monteur der Installationsfirma 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

POS-NR.	BENENNUNG	BESCHREIBUNG	MENGE
1	43.66124 D	Doppelnippel flachdichtend	1
2	43.66152	VENTILLEN WS 3820 - 1/2"	2
3	43.66153	DICHTUNG CEVENTILLEN WS3820 3/4"	31
4	10200 PM	PM-REGLER FUER THERMEN	1
5	10203.492	GRUNDPLATTE 480 X 600 X 1,5 MM	1
6	10232.58	WTT-WAERMETAUSCHER WP24-30E, 16 BAR	1
7	10240.801	DICHTUNGSBUCHSE FUER DURCHFLUSSREGLER	1
8	10240.803	DURCHFLUSSREGLER 12 LITER	1
9	10510.4	ZIRKULATIONSBRUECKE 45/65 °C	1
10	10510.57	RED-STOPFEN MS VERCHR. 1/2X1/8"	1
11	26950.005	FEDERKLAMMER C130-25L_0	1
12	45280.8	ZAEHLERVERSCHRAUBUNG, FLACH DICHTEND	1
13	46100.15	EINLEGERING FUER WELLOHR DN16	4
14	59091.051	MUTTER 3/4"IG, F. TH-STUECK 1/2"	1
15	61801.2	KUGELHAHN 3/4"IG X UEWM 3/4" IG, GRIFF C2	1
16	61801.22	KUGELHAHN 3/4"IG X UEWM 3/4" IG, GRIFF C2	3
17	61880.04	KAPPE 3/4" MS-ROH	1
18	61881.051	MUTTER 3/4"IG, PLOMBIERBAR	3
19	61881.22	DREIWEGEKUGELHAHN 3/4"IG*F24MM	1
20	66436.06	KLEMMSPANGE F. KONSOLE	5
21	66436.06	KLEMMSPANGE F. KONSOLE	2
22	66436.06	KLEMMSPANGE F. KONSOLE	4
23	68005.00	KLEMMRINGVERSCHRAUBUNG 1/8"X5	1
24	68005.1	WINKELVERSCHRAUBUNG 1/8"AG X 5 MM,	1
25	68025	BALANCER 3/4", O. PILOTLAITUNG	1
26	68156.14	ZWISCHENSTUECK FUER UWM 3/4"IG	1
27	68240.06	MUTTER M6	1
28	90250.03	T-STUECK 3/4" AG, 3/4" AG, 22MM	1
29	90250.051	T-STUECK 1/2"IG, 3/4" AG, 22MM	1
30	90250.622	T-Stück kompl.	1
31	90250.623	T-STUECK 1/2"IG, 3/4" AG, 3/4" I	1
32	90250.653	T-STUECK DN15 - ROHKOEPPER	1
33	90352.13	ROHRNIPPEL 3/4" X 110MM MS	3
34	90363	KAPILLARROHR CU 5 X 0,45-0,46	0,3
35	90651.16 OR	RED-DOPPELNIPPEL 1/2"AG X 3/4"AG	1
36	B-10511.32	VERTEILERBALEN 3/4"AG SEITLICH,	1
37	B-45150.013	WINKEL 3/4" X 22MM	1
38	B-45150.016	WINKEL 3/4" UWM X 3/4" UWM	1
39	B-46123.20	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
40	B-46123.20	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
41	B-46123.20 A	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
42	B-46123.21 A	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
43	B-46123.23	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
44	B-46123.23	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
45	B-46123.28	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
46	B-46123.40 A	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
47	B-46125.16	BAUGRUPPE EDELSTAHLWELLOHR	1
48	B-69077.165	ANSCHLUSSNIPPEL 3/4"AG X 3/4" UWM	1
49	G15105 MS	BLINDSTOPFEN 1/2"	1
50	G15107.5	WASSERABLAUF-/ENTLEERSTOPFEN 1/2"	1

ISO 9001:2015	ISO 14001:2015	ISO 45001:2018	ISO 2768-mK
00	01	02	03
04	05	06	07
08	09	10	11
12	13	14	15
16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31
32	33	34	35
36	37	38	39
40	41	42	43
44	45	46	47
48	49	50	

Abbildung 103: Ansicht der Frischwasserstation (Zeichnung des Herstellers)

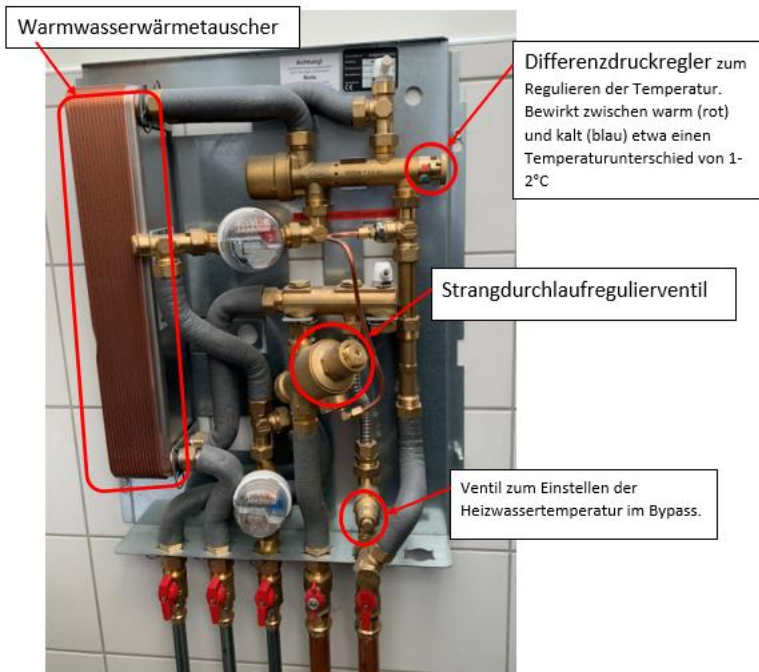


Abbildung 104: Foto der Frischwasserstation im eingebauten Zustand, ohne Geräteabdeckung



Abbildung 105: Einregulierung des Strangdurchlaufregulierventils, Einregulierung des Bypass-Ventils und Temperatur-Anzeige am Bypass-Ventil; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg)

Da die oben beschriebene „Grobeinstellung“ nicht zum gewünschten Ergebnis führte (Rücklauftemperaturen zu hoch / Durchfluss bei „Nichtzapfung“ unklar und ebenfalls eher zu hoch), wurde ein zweiter Termin zur „Feineinstellung“ am 05.05.25 durchgeführt, bei dem auch ein Servicetechniker der Herstellerfirma anwesend war.

- Sämtliche Bypässe in allen 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.

Für den Nachweis der ausreichenden Versorgung wurden nach Beendigung der Einregulierungsarbeiten 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 in den verschiedenen Lastfällen (keine Zapfung / wenig Zapfung / viel Zapfung) überprüft und ein korrekter Betrieb bestätigt.

Der Bypass-Volumenstrom (Durchfluss im Heizkreis bei „Nichtzapfung“) kann nicht direkt abgelesen werden, sondern ist ein errechneter Wert auf Basis der Pumpenkennlinie und liegt demnach bei ca. 100 Liter/h.

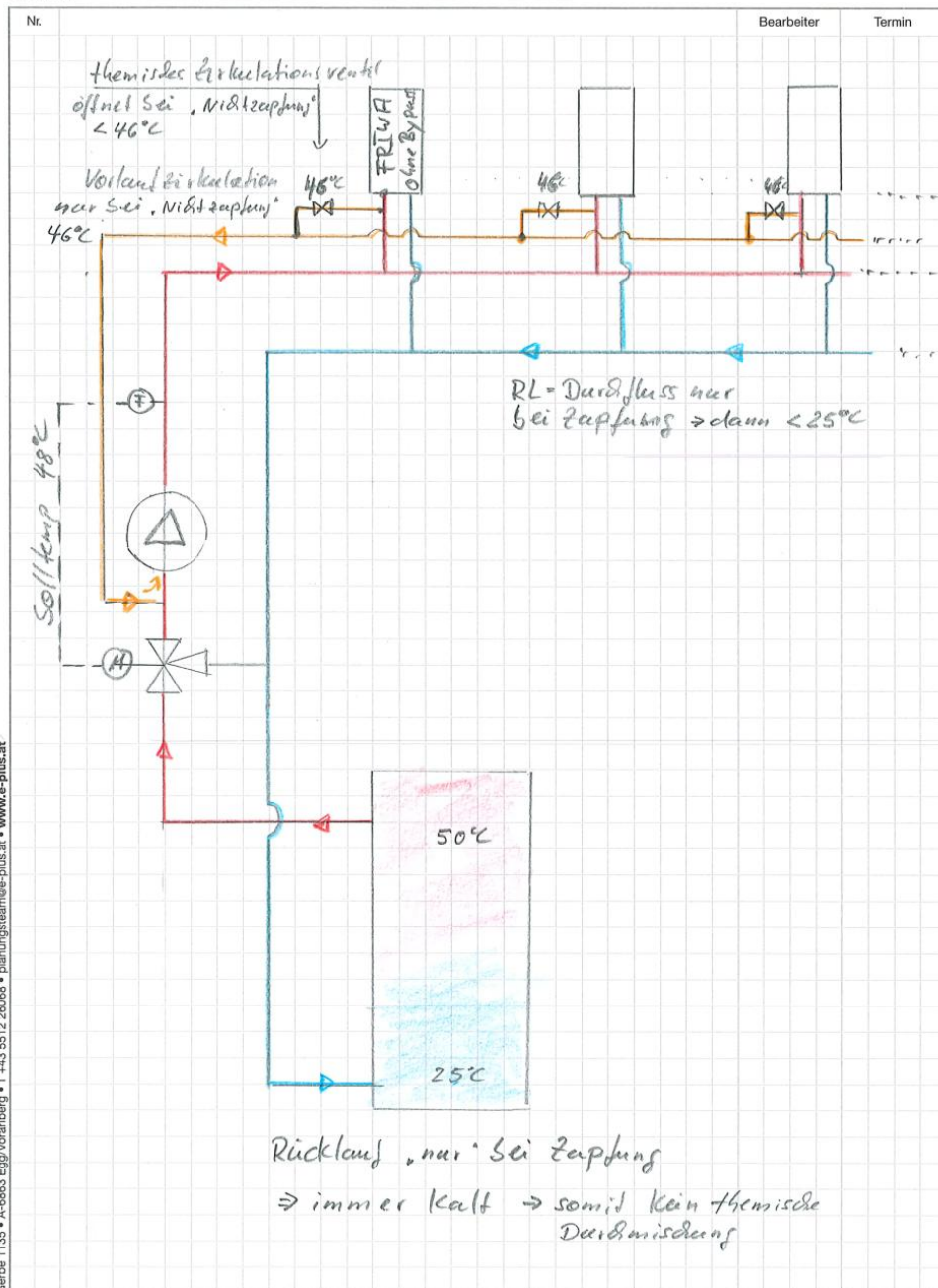
Anhand der gemessenen Vor- und Rücklauftemperaturen (ohne Zapfung) 48°C, RL 46°C), sowie dem Durchfluss (100 l/h) kann der Wärmeverlust (während den „Nichtzapfungszeiten“) mit 23,26 Watt abgeschätzt werden.

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 Durch-

mischungen im Wärmespeicher, was negative Auswirkungen auf die Temperaturschichtung und die Speicherverluste hat.

Eine Überlegung zur „systemischen“ Reduzierung dieser Verluste / Durchmischungen wäre:
Die Installation einer separaten (sehr dünnen ... z.B DN 10 - 12) Zirkulationsleitung „parallel“ zur Vorlaufleitung im Heizkreisverteilsystem der Frischwasserstationen.

Blatt: _____ Datum: _____
 Projekt: _____ Ort: _____
 Thema: *System „Vorlaufzirkulation“*
 Teilnehmer: _____



Planungsteam E-Plus GmbH
 Gerbe 1135 • A-6863 Eggenstein • T +43 5512 26068 • www.e-plus.at

Abbildung 106: Erläuterung der Funktionsweise und der Temperaturen für das System “Vorlaufzirkulation”;
 Skizze: Planungsteam E-Plus

5.3.3 Änderungen von Regelungseinstellungen

Wie in Kapitel 5.3.2 dargestellt, entsprachen einige in der Siemens-MSR bei Inbetriebnahme hinterlegte Einstellungen nicht den geplanten Werten. So war der Sollwert der Vorlauftemperatur bei einer Außenlufttemperatur von 10°C auf 26°C statt wie geplant auf 28°C eingestellt. Außerdem war eine Nachtabsenkung einprogrammiert, die nicht vorgesehen war.

Die Nachtabsenkung wurde am 15.05.2025 deaktiviert, die VL-Temperatureinstellung auf den geplanten Wert gesetzt.

5.3.4 Umbau Rücklauf der Frischwasser-Stationen

Bei der Analyse der Monitoringdaten zur Warmwasserbereitung fiel auf, dass die Rücklauf-Temperatur Warmwasser fast der Vorlauf-Temperatur von 48 - 50°C entspricht, wenn nicht gezapft wird. Dies bedeutet, dass Warmwasser mit hoher Temperatur zirkuliert. Wenn gezapft wird, fällt die Temperatur leicht. Der etwa 48° warme Rücklauf (mit 100 Liter/h) wird ganz unten in den Heizungs-Pufferspeicher eingeführt. Der Heizungsrücklauf hat meist etwa 35°C, oft nur 30°C. Der Rücklauf des Warmwasserkreises heizt den unteren Speicherteil zu stark auf.

Zur Problembehebung wurde beschlossen, den Warmwasser-Rücklauf in den Warmwasserstatt in den Heizungs-Speicher einzubinden.

Die Änderung wurde am 26.03.2025 durchgeführt. Die beiden folgenden Abbildung zeigen das Schema der Einbindung der Speicher vor und nach dem Umbau der Einbindung des Warmwasser-Rücklaufs.

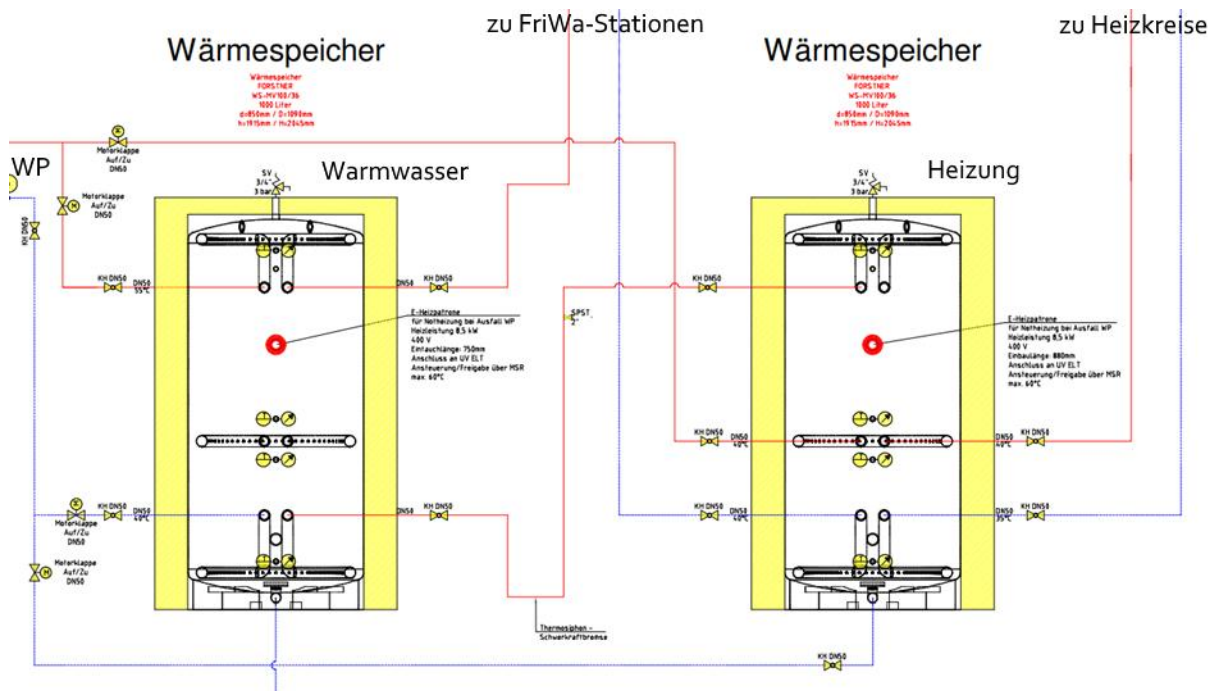


Abbildung 107: Schema der Einbindung der Speicher vor der Änderung der Einbindung des Warmwasser-Rücklaufs

Der linke Pufferspeicher ist für **Warmwasser** und der rechte für die **Heizkreise**

- Vom **Warmwasserspeicher** führen Leitungen zu den **FriWa-Stationen** (Frischwasserbereitung).
- Vom **Heizungsspeicher** gehen die Leitungen zu den **Heizkreisen**.

Die folgende Abbildung zeigt das Schema nach der Änderung der Einbindung des Rücklaufs von den Frischwasserstationen.

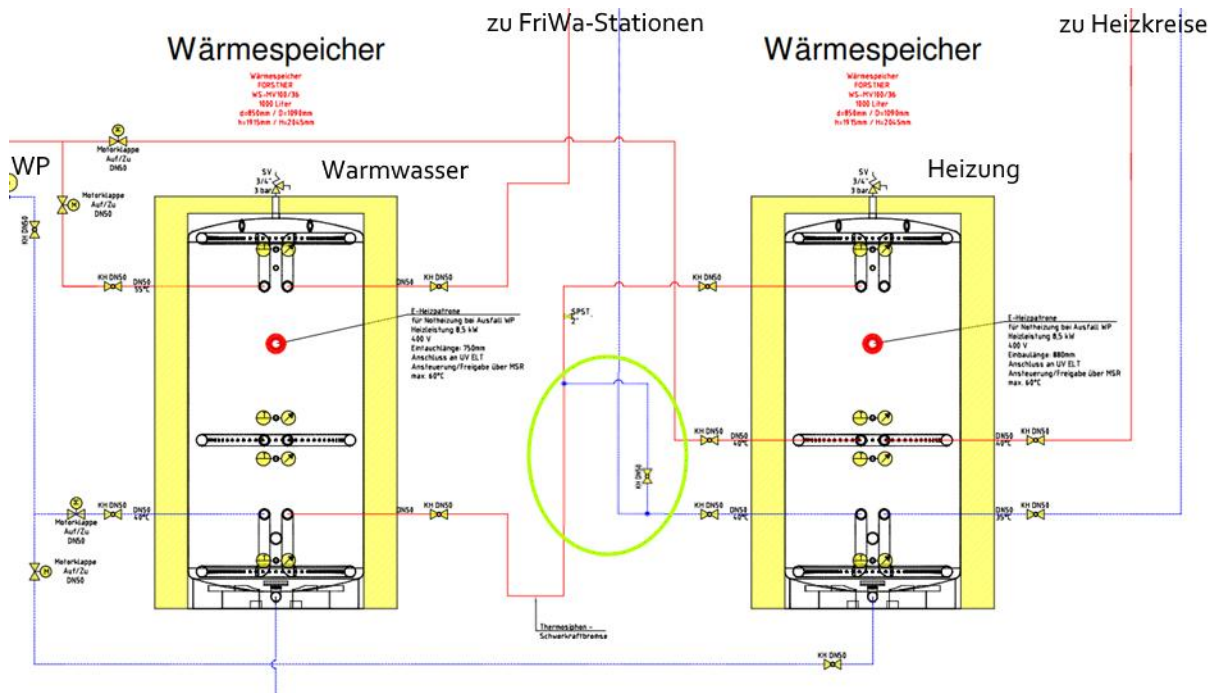


Abbildung 108: Schema der Einbindung der Speicher nach der Änderung der Einbindung des Warmwasser-Rücklaufs

Nach dem Umbau ist der Rücklauf von den Frischwasserstationen über zwei Absperrhähne und eine zusätzliche Leitung so eingebunden, dass er wahlweise auf den Warmwasserspeicher oder den Heizungsspeicher geführt werden kann. Für den aktuellen Betriebszustand wurde der Absperrhahn zum Heizungsspeicher geschlossen und der neue Rücklaufweg zum Warmwasserspeicher geöffnet.

Auswirkungen auf den Warmwasserspeicher:

Nachfolgend sind die Temperaturen und Leistungen für die Beladung des Speichers zur Frischwasserbereitung sowie für die Entnahme aus dem Speicher und die jeweiligen Speichertemperaturen dargestellt. Verglichen werden Tagesprofile von drei unterschiedlichen Zeitpunkten. Der erste Zeitpunkt liegt vor der Optimierungsphase, am 6. Jänner 2025.

Deutlich erkennbar sind die ständig ablaufenden Ladezyklen der Wärmepumpe (blaue, gestrichelte Kurve). Aufgrund dieser kontinuierlichen Nachladung entsteht im Speicher keine Schichtung; alle Temperatursensoren zeigen nahezu identische Werte von rund 55 °C. Die Folgen sind deutlich erhöhte Lade- und Speicherverluste, da der gesamte Speicher permanent auf hohem Temperaturniveau gehalten wird.

Die Vorlauftemperatur der Frischwasserbereitung (violette, gepunktete Kurve) liegt konstant bei ca. 56 °C. Die Rücklauftemperatur (orange, gepunktete Kurve) ist mit überwiegend 49 °C

ebenfalls sehr hoch; lediglich bei größeren Zapfvorgängen fällt sie kurzzeitig auf etwa 45 °C ab. Auch ohne Wasserentnahme bleibt die Leistung der Frischwasserbereitung (grüne, strichlierte Kurve) bei knapp unter 2 kW relativ hoch. Das zeigt die Verluste in den Verteilungen sowie in der Frischwasserstation selbst.

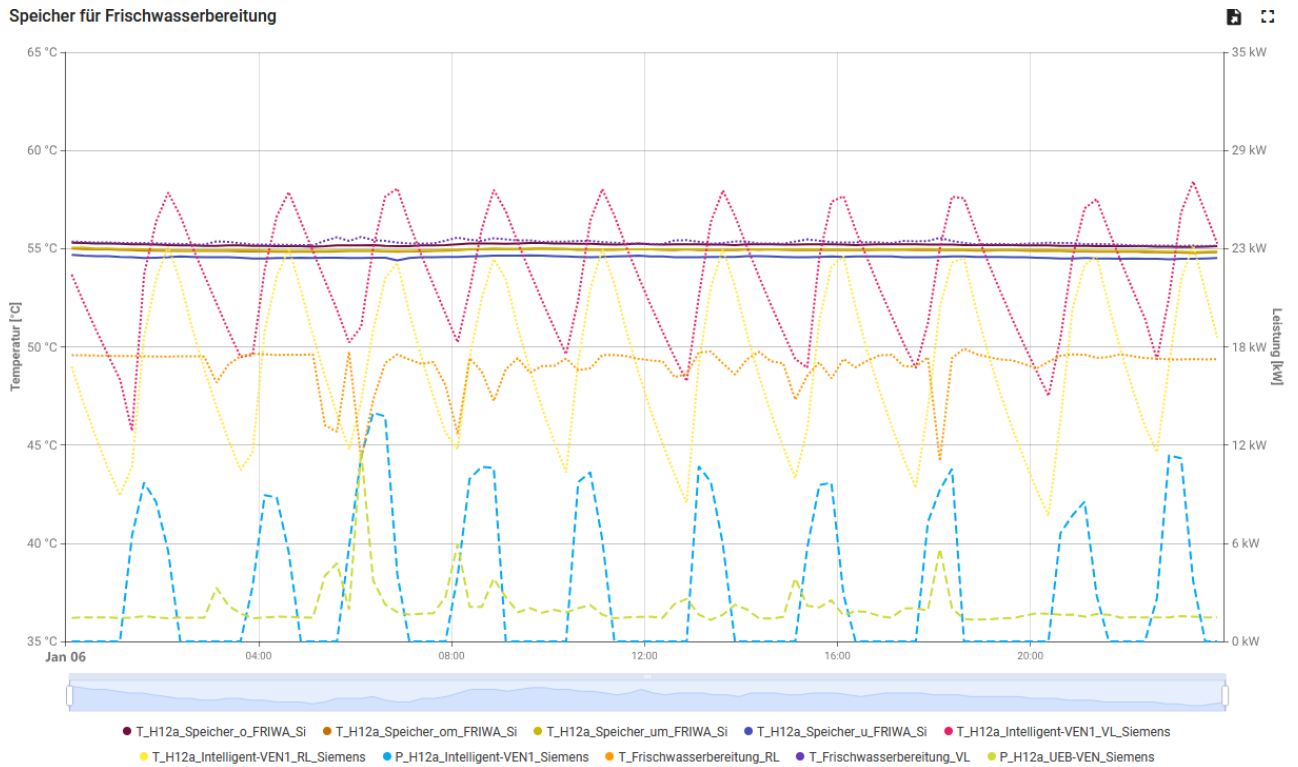


Abbildung 109: Haus12a, WW-Speicher vor Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6.Januar 2025, Viertelstundenmittelwerte

Nach der Optimierung (in Abbildung vom 6.Mai 2025) ist klar ersichtlich, dass nur mehr drei Ladefenster pro Tag erforderlich sind. Dies wirkt sich positiv auf die Lade- und Speicherverluste aus. Die Rücklauftemperatur der Frischwasserbereitung (orange, gepunktete Kurve) liegt jedoch weiterhin unverändert bei rund 49 °C.

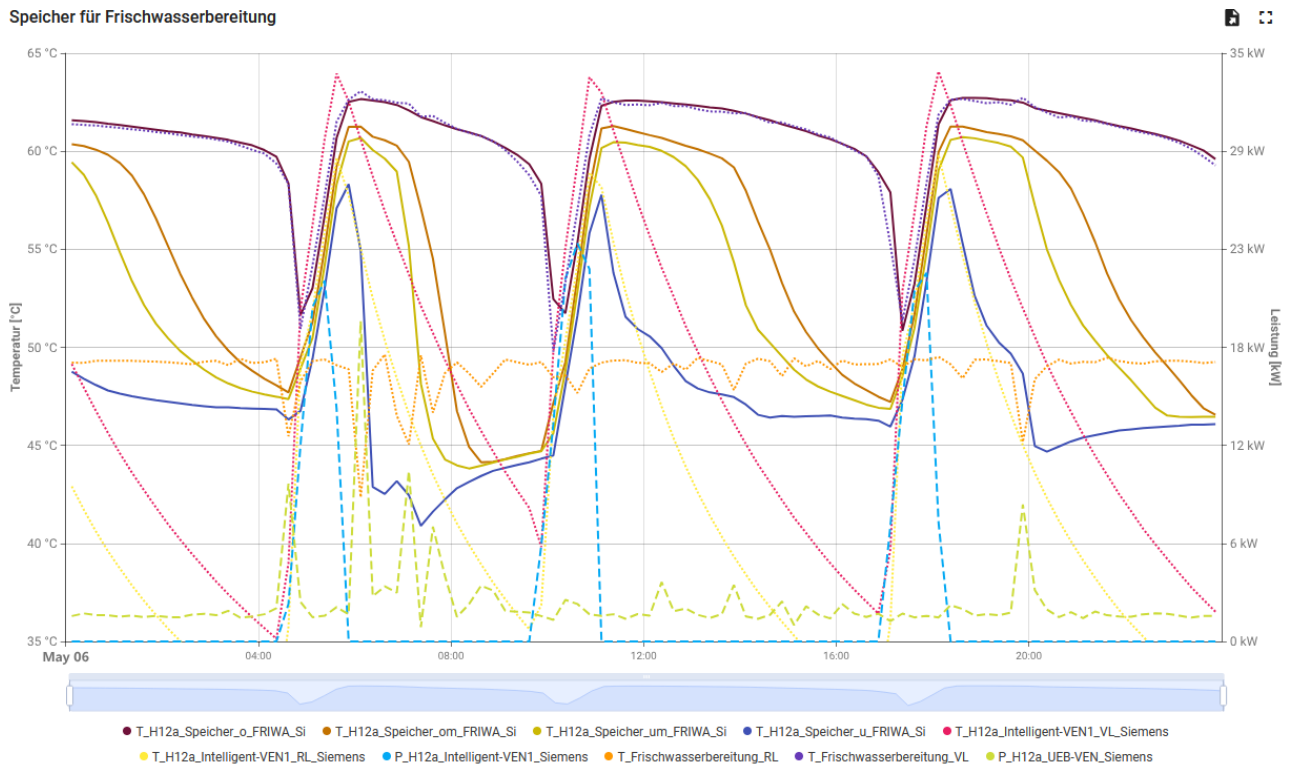


Abbildung 110: Haus12a, WW-Speicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6. Mai 2025, Viertelstundenmittelwerte

Zum dritten Zeitpunkt, dem 6. November 2025, zeigt sich ein ähnliches Bild wie am 6. Mai 2025.

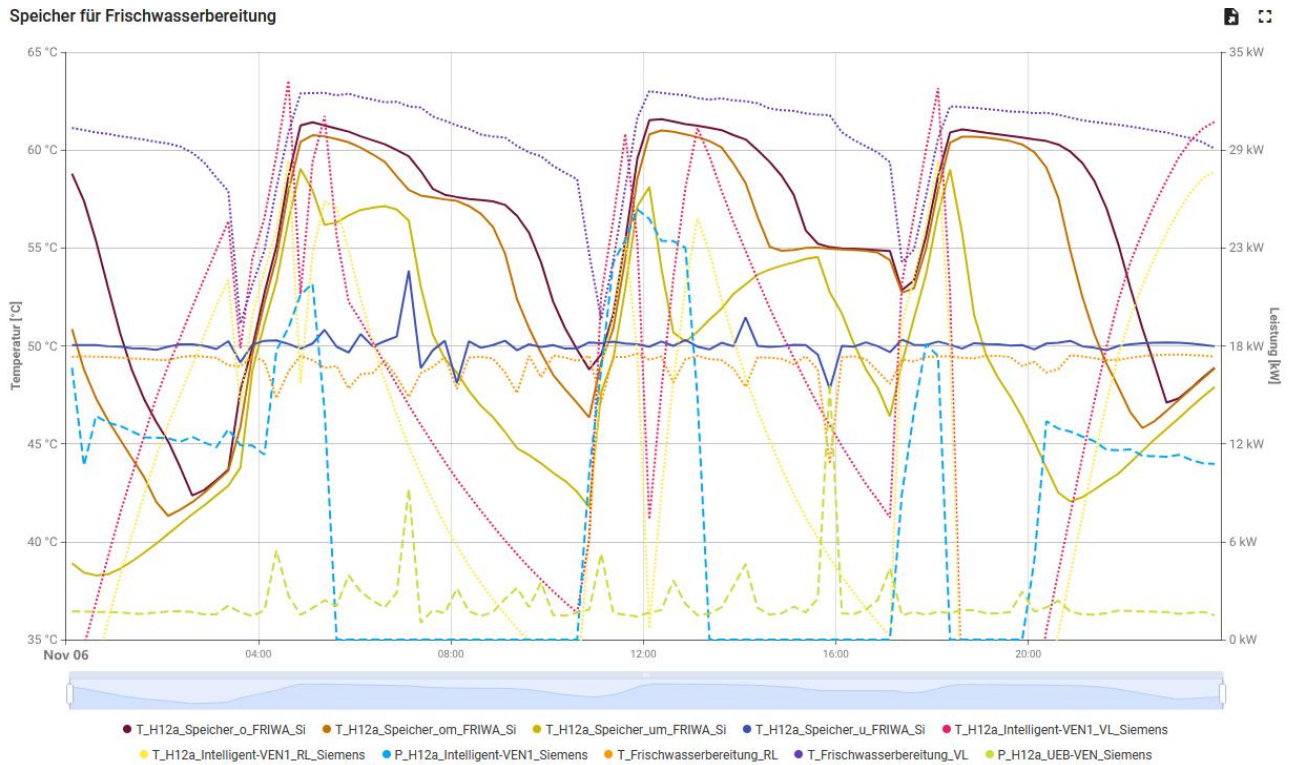


Abbildung 111: Haus12a, WW-Speicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6. November 2025, Viertelstundenmittelwerte

Auswirkungen auf den Heizungsspeicher:

Nachfolgend sind die Temperaturen und Leistungen für die Beladung des Speichers der Heizung sowie für die Entnahme aus dem Speicher und die jeweiligen Speichertemperaturen dargestellt. Verglichen werden Tagesprofile von drei unterschiedlichen Zeitpunkten. Der erste Zeitpunkt liegt vor der Optimierungsphase, am 7. Jänner 2025.

Deutlich erkennbar sind die ständig ablaufenden Ladezyklen der Wärmepumpe (blaue, gestrichelte Kurve). Aufgrund dieser kontinuierlichen Nachladung entsteht im Speicher nur eine schwach ausgeprägte Schichtung von 45 bis 55°C. Die Folgen sind deutlich erhöhte Ladeverluste und höhere Speicherverluste, da der gesamte Speicher permanent auf hohem Temperaturniveau gehalten wird.

Die Vorlauftemperatur am Austritt aus dem Pufferspeicher (rosa, gepunktete Kurve) steigt einmal auf etwa 55 °C an und fällt dann wieder auf 47°C ab. Die tatsächliche Vorlauftemperatur am FBH-Kreis bewegt sich zwischen 30°C und 35°C und ist nur ca. 2°C höher als die Rücklauftemperatur (dunkelbraun, gepunktete Kurve).

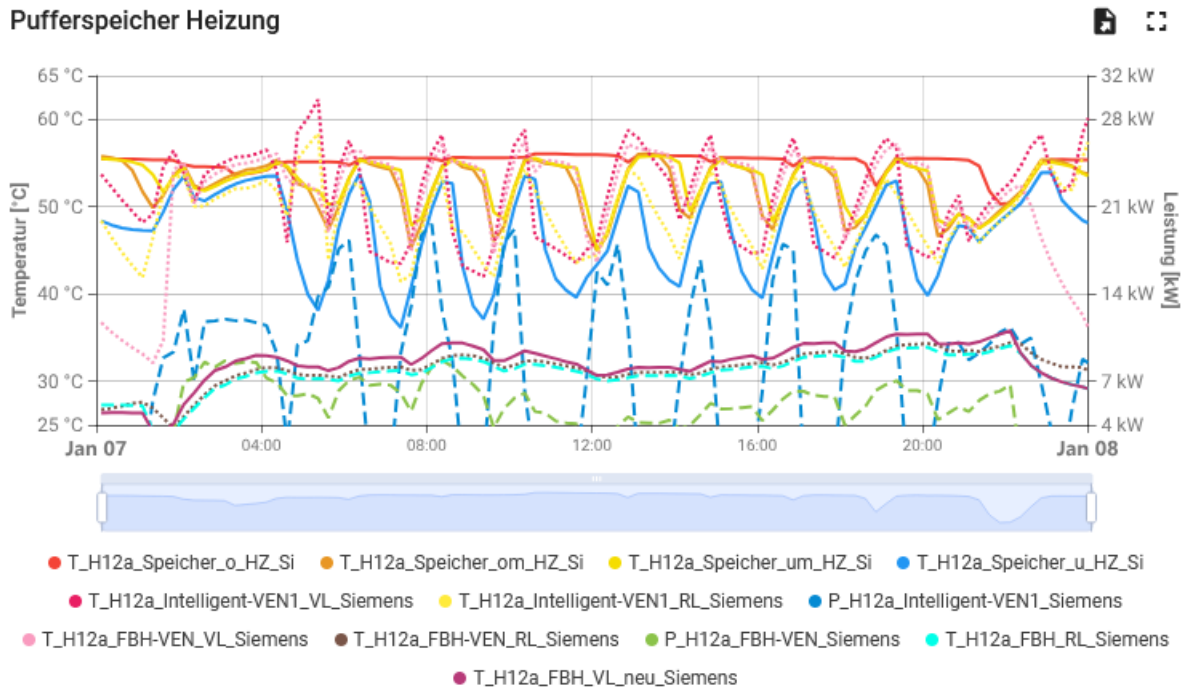


Abbildung 112: Haus12a, Heizungsspeicher vor Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6.Januar 2025, Viertelstundenmittelwerte

Nach der Optimierung ist klar ersichtlich, dass nur mehr drei Ladefenster pro Tag erforderlich sind. Dies wirkt sich sehr positiv auf die Lade- und Speicherverluste aus. Die Vor- und Rücklauftemperatur der Heizung (dunkelbraun und lila, gepunktete Kurve) liegt sehr eng, auf einem niedrigen Niveau, zusammen.

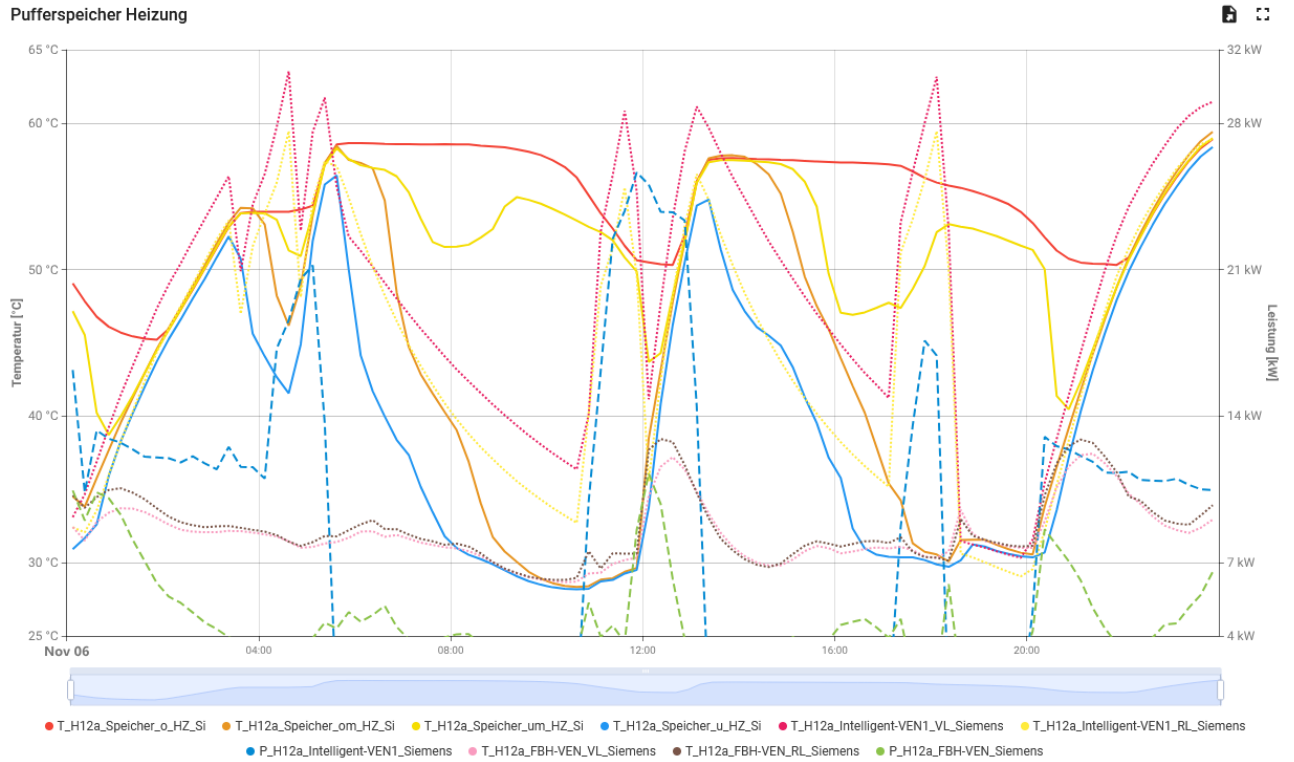


Abbildung 113: Haus12a, Heizungsspeicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6.November 2025, Viertelstundenmittelwerte

Auch nach dem Umbau wird der Heizungsspeicher in der heizungsfreien Zeit im Sommer immer auf Temperatur gehalten.

Die obere Speichertemperatur (T_H12a_Speicher_oHZ_Si, rote Kurve) liegt konstant auf 43°C.

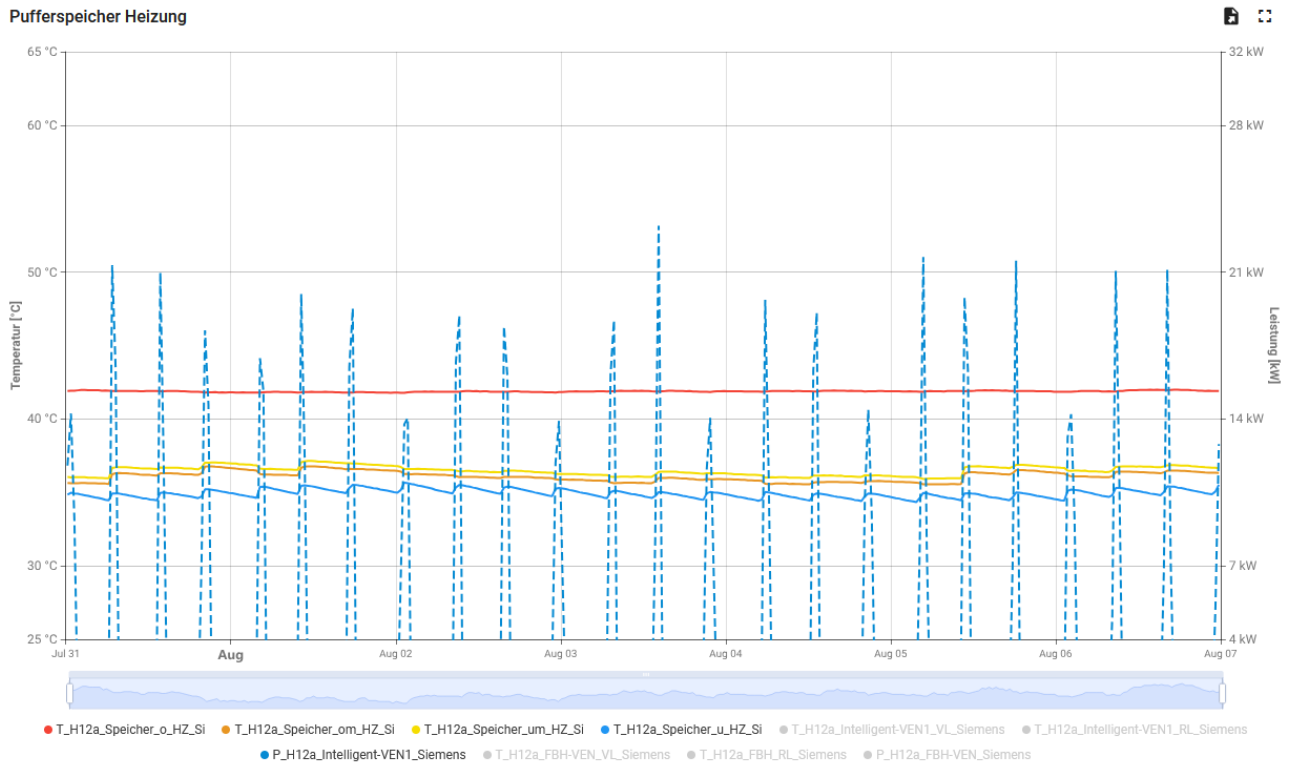


Abbildung 114: Haus12a, Heizungsspeicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, Augustwoche 2025, Halbstundenmittelwerte

Ausfall der Wärmepumpe nach Umbau der Speichereinbindung

Nach dem Umbau der Speicherverrohrung gab es eine Fehlermeldung der Wärmepumpe, weil Luft im System war. Die Wärmepumpe schaltete ab, die Speicher wurden ausschließlich über die Heizstäbe erwärmt. Diese Schaltung erfolgte weder über die Siemens-MSR, noch über die Regelung der Wärmepumpe. Offensichtlich wurde der Heizstab im Heizungsspeicher manuell vor Ort eingeschaltet und auf 85°C gesetzt. Da die Fehlermeldung der Wärmepumpe nicht bemerkt und die manuelle Inbetriebnahme der Heizstäbe nicht gemeldet wurde, blieben der Betrieb des Heizstabs und der Ausfall der Wärmepumpe lange unbemerkt. So übernahmen die Heizstäbe die komplette Wärmeversorgung des Gebäudes vom Zeitpunkt des Umbaus der Speicherverrohrung am 26.03.2025 bis zur Beseitigung des Fehlers und die Wiederinbetriebnahme der Wärmepumpe am 09.04.2025. Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und der Heizstäbe vor und nach dem Umbau der Speicherverrohrung und dem Ausfall der Wärmepumpe.

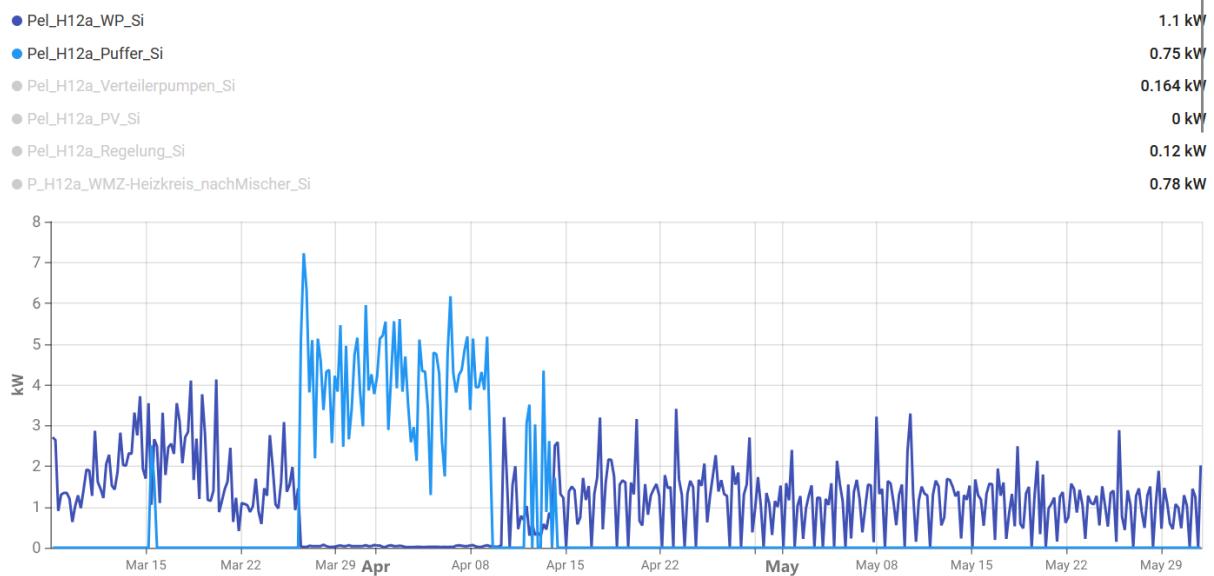


Abbildung 115: Leistungsaufnahme Wärmepumpe und el. Heizstäbe vom 08.03.25 bis zum 31.05.25; Haus 12a; Quelle: Siemens-MSR; 5-Stundenmittelwerte

Wie zu erkennen, fiel die Wärmepumpe vom 26.03.2025 bis zum 09.04.2025 mittags total aus. Nach Behebung des Fehlers und Wiederinbetriebnahme der Wärmepumpe übernahm sie die Wärmeversorgung. Vom 11.04.2025 bis zum 14.04.2025 wurde allerdings der Heizstab manuell eingeschaltet. Von wem und aus welchem Grund konnte nicht geklärt werden.

Die folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf im Heizungsspeicher in vier Höhen vor und nach der Änderung der Speicherverrohrung und bis zur Behebung des Ausfalls der Wärmepumpe.

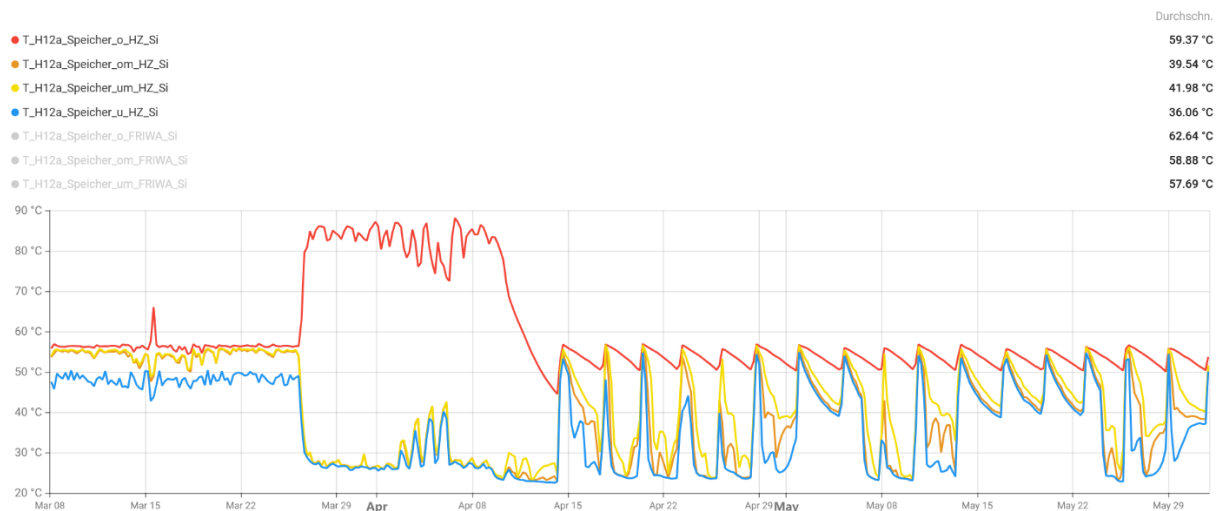


Abbildung 116: Temperaturverläufe im Heizungsspeicher in vier Höhen vom 08.03.25 bis zum 31.05.25; Haus 12a; Quelle: Siemens-MSR; 5-Stundenmittelwerte

Die Abbildung zeigt, dass der Heizungsspeicher vor dem Umbau der Speicherverrohrung schlecht schichtete und mit Temperaturen von 46°C (unten) bis 56°C (oben) insgesamt zu warm war.

In der Zeit des Ausfalls der Wärmepumpe wurde der Speicher oben durch den elektrischen Heizstab auf etwa 85°C erwärmt. Dieser lief während des gesamten Zeitraums mit einer Leistung von etwa 8,5 kW.

Nach Wiederinbetriebnahme der Wärmepumpe schichtet der Speicher besser, das Temperaturniveau lag oben bei maximal 56°C und unten bei minimal etwa 24°C. Außerdem ist zu erkennen, dass der Speicher getaktet beladen wurde. Warum der Heizungsspeicher Mitte April kontinuierlich beladen (getaktet) und auf das immer noch hohe Temperaturniveau geladen wird, konnte nicht geklärt werden, da die Regelung in der MSR nicht einsehbar ist, der Hersteller die Algorithmen der Regelung nicht bekannt gab und den Fehler trotz mehrfacher Aufforderung nicht behob.

Die folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf im Warmwasserspeicher in vier Höhen vor und nach der Änderung der Speicherverrohrung und bis zur Behebung des Ausfalls der Wärmepumpe.



Abbildung 117: Temperaturverläufe im Warmwasserspeicher in vier Höhen vom 08.03.25 bis zum 31.05.25; Haus 12a; Quelle: Siemens-MSR; 5-Stundenmittelwerte

Das Temperaturniveau im Warmwasserspeicher lag vor dem Umbau der Speicherverrohrung zwischen etwa 61°C (oben) und 56°C unten. Der Speicher schichtete also schlecht und war insgesamt sehr warm.

Während des Ausfalls der Wärmepumpe wurde der Speicher auf etwa 80° (oben) geladen.

Nach Fehlerbehebung und Wiederinbetriebnahme der Wärmepumpe schichtete der Speicher besser. Die Temperatur lag oben bei etwa 61°C und unten bei etwa 47°C. Dies entspricht den

Vorgaben; es sollte geprüft werden, ob das Temperaturniveau im Speicher noch etwas gesenkt werden kann, ohne dass die Soll-Austrittstemperatur von ca. 50°C nicht mehr erreicht werden kann.

5.3.5 Reduktion des Luftvolumenstroms der Komfortlüftung mit WRG

Der Luftvolumenstrom wurde am 01.12.25 von 660 auf 530 m³/h reduziert. Dies ist möglich, da 10 der 11 Wohnungen nur von einer Person bewohnt sind, so dass im ersten Betriebsjahr sehr niedrige CO₂-Konzentrationen in der Raumluft auftraten. Die Reduktion sollte dazu führen, dass die relative Feuchte im Winter seltener auf Werte unter 30% sinkt.

6 Ergebnisse kleines Gebäude

Aufgrund eines mehr als dreimonatigen Totalausfalls der Messdatenerfassung über die MSR während der Heizperiode 2024/25 ist die Datenlage zu den Energieverbräuchen und Wärmeströmen für das kleine Gebäude für das erste Betriebsjahr nach Sanierung deutlich schlechter als für das große. Auch die Optimierung im Betrieb wurde durch diesen Ausfall erheblich erschwert und verzögert.

Die wichtigsten Monitoring-Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt, vertiefende Detailanalysen folgen im Monitoringbericht für das zweite Betriebsjahr.

6.1 Nutzung, thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität

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

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

Die Belegungsdichte ist damit deutlich höher als im großen Gebäude. Die mittlere Wohnfläche liegt bei $31,7 \text{ m}^2_{\text{WNF}}$ im Vergleich zu $53,3 \text{ m}^2_{\text{WNF}}$ im großen Gebäude.

6.1.1 Raumlufttemperatur

Monatsmittelwerte der Raumlufttemperatur

In der folgenden Tabelle sind die flächengewichteten Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen für die einzelnen Wohnungen dargestellt. Die Werte stellen Monatsmittel über alle drei aufgezeichneten Räume pro Wohnung dar. Neben einem Ganzjahres-Mittelwert ist auch der Mittelwert für die Heizperiode – repräsentiert durch die Werte der Monate Oktober bis März - ausgewiesen.

Der letztgenannte Wert wird für den Vergleich der realen Verbräuche mit den in der Verbrauchsprognoseberechnung ermittelten Verbräuchen benötigt.

Tabelle 26: Haus 19, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen pro Wohnung (Juni 2024 – Mai 2025)

Wohnung	Wohnfl. [m ²]	Temp [°C] Juni 24	Temp [°C] Juli 24	Temp [°C] Aug. 24	Temp [°C] Sept. 24	Temp [°C] Okt. 24	Temp [°C] Nov. 24	Temp [°C] Dez. 24	Temp [°C] Jan. 25	Temp [°C] Feb. 25	Temp [°C] März 25	Temp [°C] April 25	Temp [°C] Mai 25	Mittel Temp [°C] Juni 24-Mai 25	Mittel Temp [°C] Okt 24-März 25
Douglasie	72,75	25,6	25,5	24,9	22,6	22,2	23,9	23,4	22,8	22,5	22,2	22,1	22,8	23,4	22,8
Linde	59,25	23,8	25,6	26,6	23,8	21,8	23,1	23,4	19,8	22,9	23,0	23,1	22,4	23,3	22,3
Pappel	59,25	22,4	23,6	24,3	20,3	19,7	20,8	22,9	22,2	21,9	22,0	23,8	23,3	22,3	21,6
Weide	72,75	23,8	25,9	26,2	22,4	23,0	24,7	24,4	24,2	24,1	23,7	23,2	22,0	24,0	24,0
Eibe	51,00	25,2	26,5	27,9	24,1	22,3	20,9	20,8	20,0	19,9	21,0	22,9	23,4	22,9	20,8
Lärche	33,90	25,7	26,4	26,2	23,5	23,6	25,8	26,2	25,9	26,9	26,8	26,5	24,7	25,7	25,9
Mittelwert														23,6	22,9

Der flächengewichtete Mittelwert aller Wohnungen über die gesamte, einjährige Messperiode beträgt 23,6 °C. Die Jahresmittelwerte der Raumlufttemperatur in den einzelnen Wohnungen liegen zwischen 22,3 °C und 25,7 °C.

Die folgende Abbildung zeigt die aufsteigend sortierten Mittelwerte der Wohnungen für die Heizperiode (Monate Oktober 24 bis März 25).

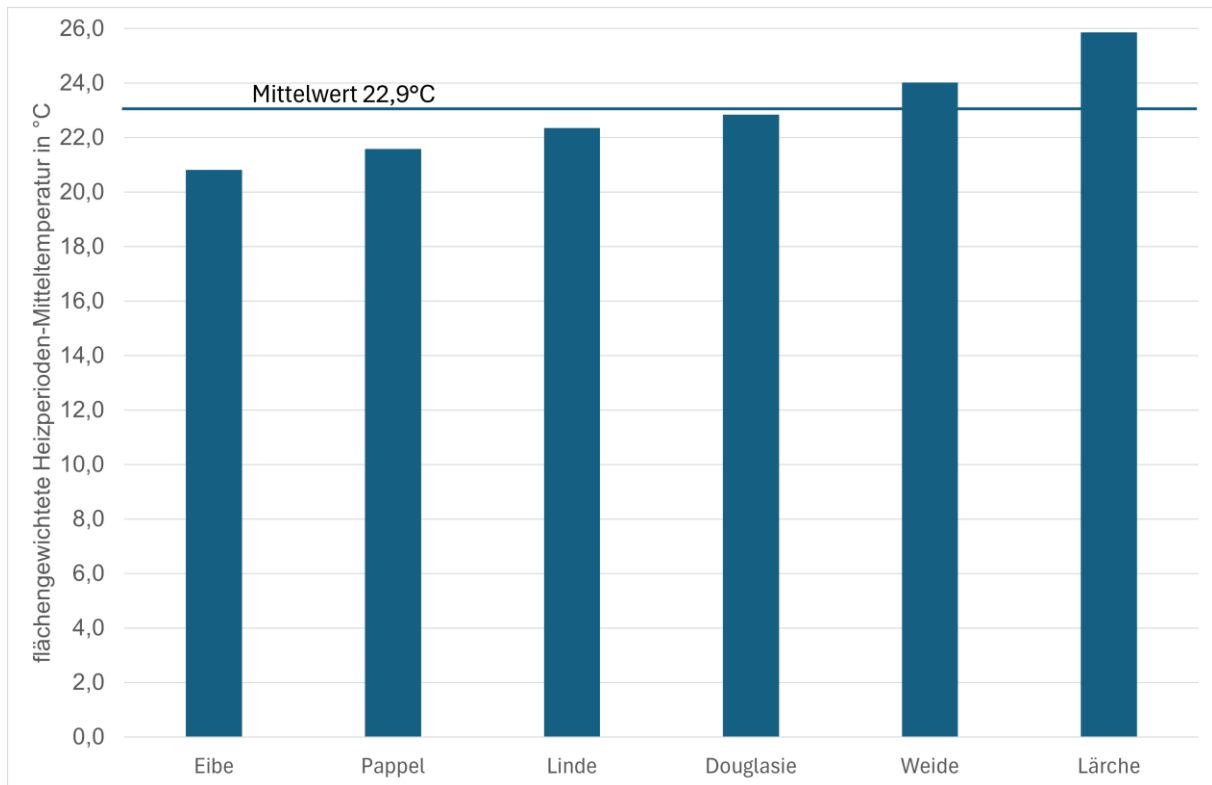


Abbildung 118: Aufsteigend sortierte, flächengewichtete Heizperioden-Mittelwerte der Raumlufttemperatur, Haus 19

Die Heizperioden-Mittelwerte der einzelnen Wohnungen lagen nach Sanierung zwischen 20,8 und 25,9 °C. Der flächengewichtete Heizperioden-Mittelwert aller Wohnungen lag bei 22,9 °C und damit knapp über der Annahme von 22,5 °C in der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung

sowie um $1,3^{\circ}\text{C}$ über dem Vergleichswert vor Sanierung. Dieser lag im Zeitraum vom 01. Oktober 2022 bis zum 31. März 2023 bei $21,6^{\circ}\text{C}$ (Wörl, 2024).

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 Raumlufttemperaturen in den Wohnzimmern des Gebäudes 19 vor und nach Sanierung dar. Da das Monitoring vor Sanierung nur 9 Monate umfasste, werden aus Gründen der Vergleichbarkeit auch die Ergebnisse des Monitorings nach Sanierung nur für 9 Monate (September bis Mai) dargestellt. Damit werden die Ergebnisse für den Hochsommer nicht dargestellt. Sie werden separat am Beispiel der wärmsten Sommerwoche analysiert.

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 Raumlufttemperaturen.

nach Sanierung (September 2024 – Ende Mai 2025)

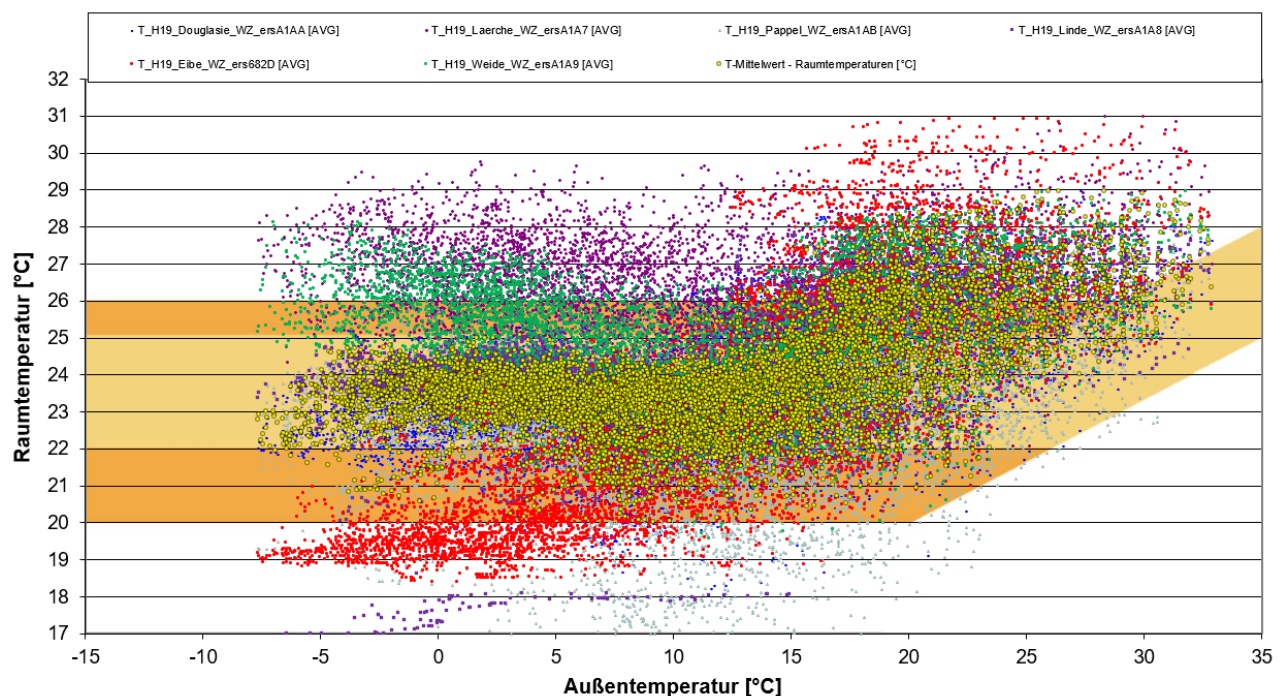


Abbildung 119: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 24 bis Mai 25, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Nach der Sanierung zeigen die Raumtemperaturen in Haus 19 ein insgesamt stabiles Niveau, das sich überwiegend im Bereich zwischen etwa 22 °C und 26 °C bewegt – weitgehend unabhängig von der Außentemperatur. Die Punktwolken der einzelnen Wohnungen sind kompakt, mit nur wenigen Ausreißern nach oben und vereinzelt nach unten.

Eine Ausnahme bildet die Wohnung Eibe, in der die Raumtemperaturen stärker mit den Außentemperaturen schwanken. Insgesamt liegen die Mittelwerte der meisten Wohnungen im komfortablen Bereich; ein leichter Anstieg der Raumtemperaturen bei höheren Außentemperaturen ist erwartungsgemäß erkennbar.

vor Sanierung (September 2022 bis Ende Mai 2023)

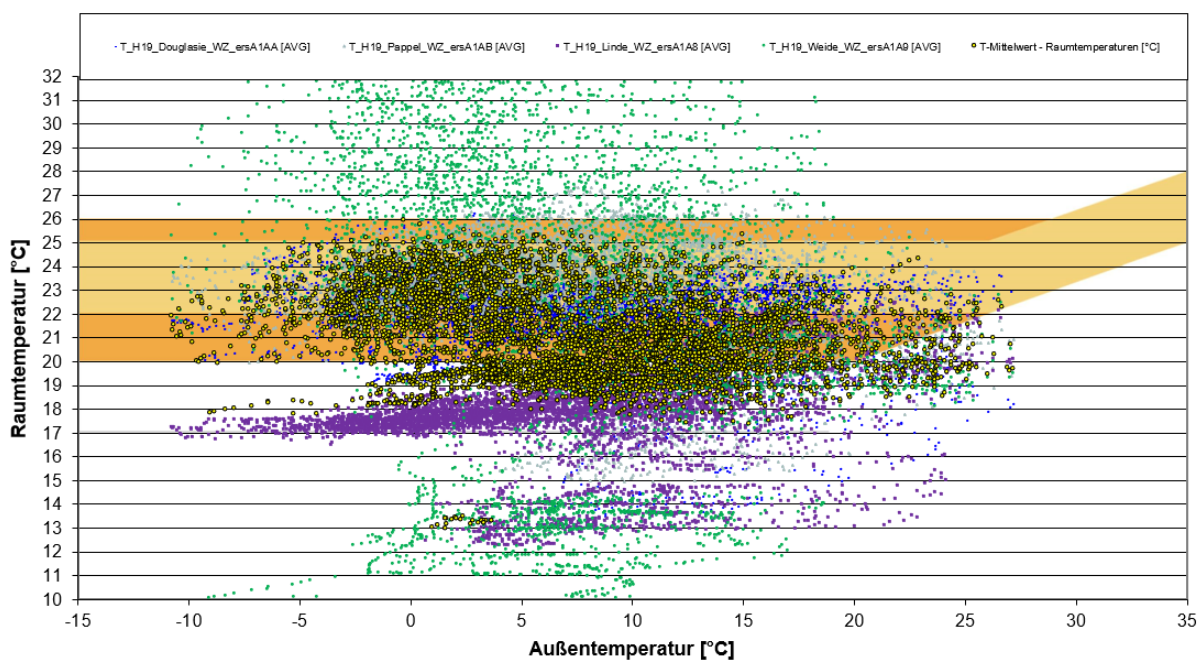


Abbildung 120: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte; Messwerte und Bereiche operativer Raumlufttemperaturen (Deutsches Institut für Normung, 1994)

Vor der Sanierung weisen die Raumtemperaturen ein deutlich uneinheitlicheres Bild auf. Besonders bei kalten Außentemperaturen sinken sie in mehreren Wohnungen teils deutlich unter 20 °C, in einigen Fällen sogar bis etwa 10 °C. Gleichzeitig zeigen sich bei wärmeren Außentemperaturen auch viele Überhöhungen oberhalb von 25 °C. Die Streuung ist insgesamt groß und deutet auf ungleichmäßige Beheizung, unterschiedliche Heizsysteme, schlechte Dämmung und unterschiedliche Nutzungsgewohnheiten hin. Der Mittelwert aller Wohnungen (gelbe Punkte) bleibt über weite Bereiche knapp unterhalb des Komfortbereichs.

Der Vergleich zeigt eine klare Verbesserung der thermischen Behaglichkeit nach der Sanierung: Die Raumtemperaturen sind stabiler, komfortabler und unabhängig von der Außentemperatur deutlich gleichmäßiger verteilt.

Raumlufttemperaturen in der kältesten Winterwoche

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

vor Sanierung:

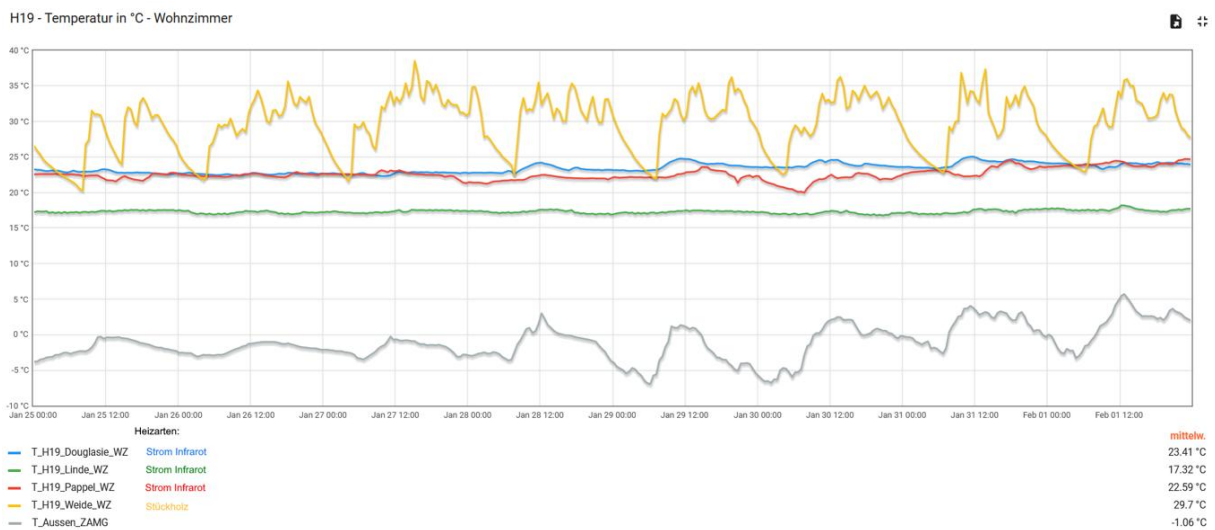


Abbildung 121: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche vor Sanierung, Halbstundenmittelwerte

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 Stückholzöfen deutlich höher.

Nach Sanierung:

H19 - Temperatur in °C - Wohnzimmer

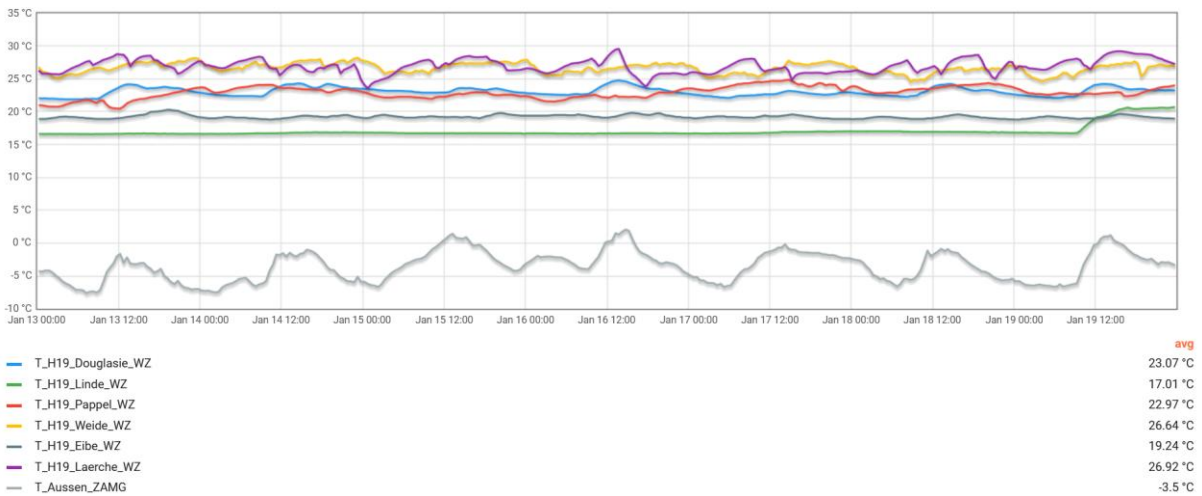


Abbildung 122: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche nach Sanierung, Halbstundenmittelwerte

Im Vergleich zur Situation vor der Sanierung verlaufen die Raumtemperaturen nun deutlich stabiler und auf höherem Niveau. Vier der sechs Wohnungen bewegen sich über die gesamte Woche hinweg im Bereich zwischen 22 °C und 27 °C. Tageszeitliche Schwankungen sind nur gering ausgeprägt, was auf eine gute Dämmung und geregelten Betrieb des neuen Heizsystems hinweist.

Lediglich die Wohnung Linde liegt mit einem Mittelwert von 17,0 °C spürbar unter dem Komfortbereich. Dies könnte auf individuelles Heizverhalten oder eine reduzierte Nutzung hinweisen. Auch die mittlere Temperatur in der Wohnung Eibe liegt mit 19,24°C eher niedrig. Die übrigen Wohnungen, darunter auch die vormals auffällige Wohnung Weide, zeigen ein durchgehend komfortables, hohes, Temperaturniveau.

Wegen des langfristigen Ausfalls der Datenaufzeichnung der MSR konnten die Gründe für die niedrigen mittleren Raumlufftemperaturen in den Wohnungen Linde und Eibe sowie die mit 26,6 bzw. 26,9°C sehr hohen Mittelwerte der Wohnungen Weide und Lärche nicht analysiert werden.

Die Außentemperaturen lagen während der Woche bei durchschnittlich –3,5 °C, was den Vergleich mit dem Heizverhalten vor der Sanierung gut ermöglicht.

Raumlufttemperaturen in der wärmsten Sommerwoche

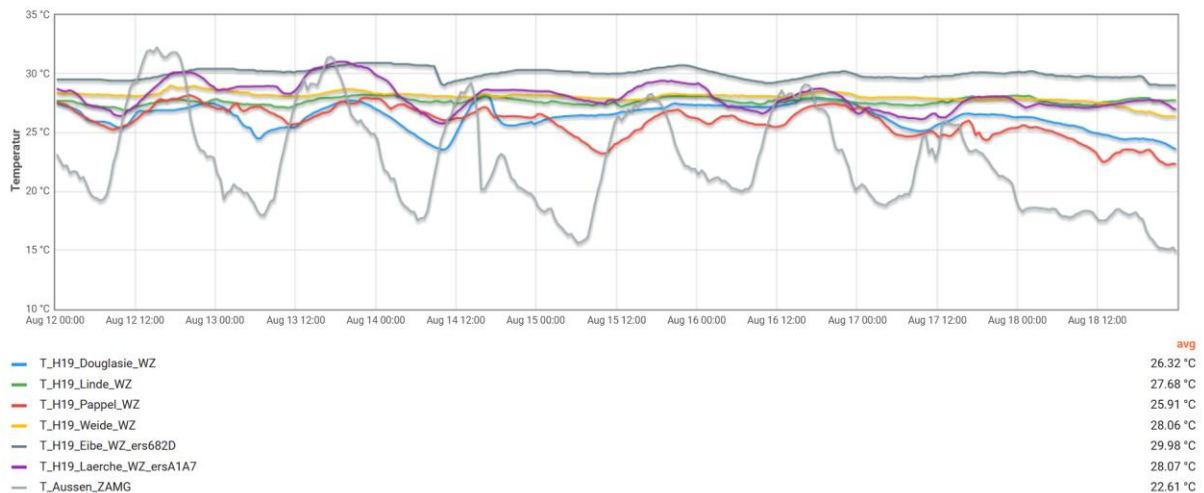


Abbildung 123: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste Sommerwoche nach Sanierung, Halbstundenmittelwerte

Die Grafik zeigt die Raumtemperaturen in den sechs Wohnzimmern während der wärmsten Sommerwoche und den Verlauf der Außentemperatur.

In allen Wohnungen liegen die Temperaturen im Mittel zwischen 25,9 °C und knapp 30 °C. Die höchsten Mittelwerte wurden in der Wohnung Eibe (29,98 °C) gemessen, die Wohnung, in der im Winter die niedrigsten Temperaturen herrschten.

Die Außentemperaturen lagen im Mittel bei 22,6 °C, mit Tagesspitzen über 30 °C und teils deutlichen nächtlichen Abkühlungen. Die Raumtemperaturen reagieren teilweise merklich auf diese Schwankungen, wobei die Trägheit der Gebäudehülle in einigen Wohnungen für ein relativ stabiles Raumklima sorgt.

6.1.2 Raumluftfeuchte

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

Wohnungen

In den folgenden beiden Behaglichkeitsdiagrammen nach DIN 1946-2 ist die relative Feuchte in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur für die Wohnzimmer in Haus 19 dargestellt. Gezeigt werden die beiden Zeiträume Juni 2024 bis Mai 2025 (nach Sanierung) und September 2022 bis Mai 2023 (vor Sanierung).

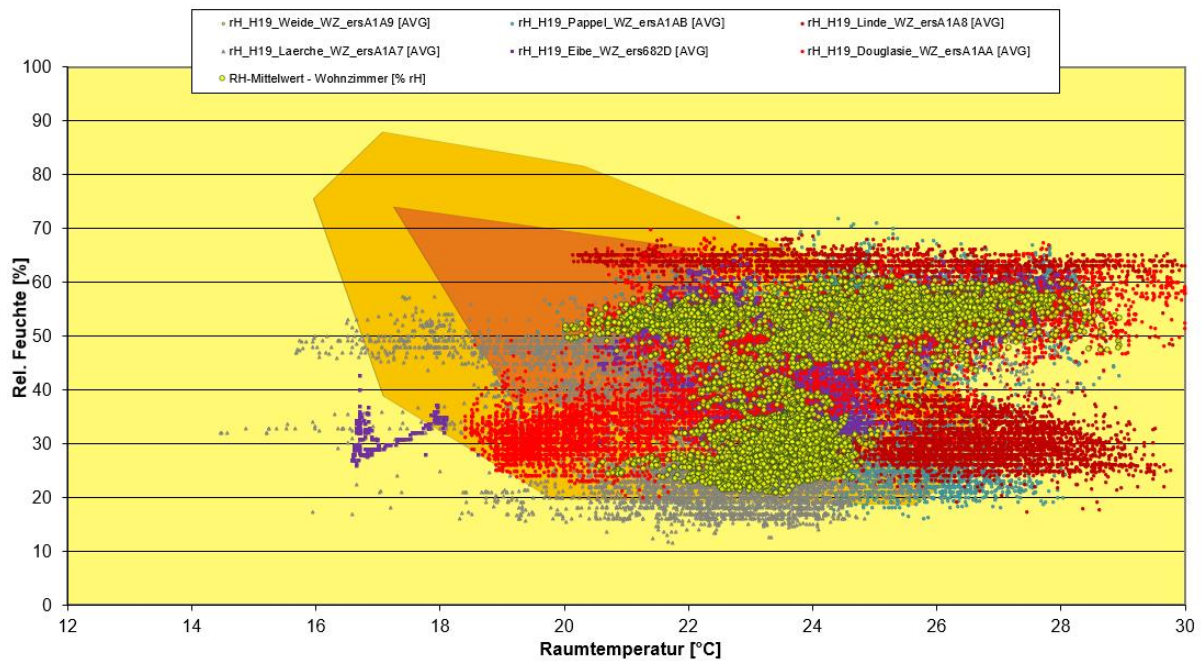
Nach Sanierung:

Abbildung 124: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Stundenmittelwerte

Die relative Luftfeuchte in den Wohnzimmern liegt nach der Sanierung überwiegend im Bereich zwischen 25 % und 65 %. Niedrigere Werte treten v.A. bei sehr hohen Raumlufttemperaturen auf. Die Verteilung ist breit, aber gut innerhalb des hygienisch unkritischen Bereichs. Die mittlere Luftfeuchte (gelbe Punkte) liegt stabil um etwa 45 %, unabhängig von der Raumtemperatur.

Die Daten belegen, dass das Feuchteniveau nach der Sanierung insgesamt ausgeglichen und behaglich ist.

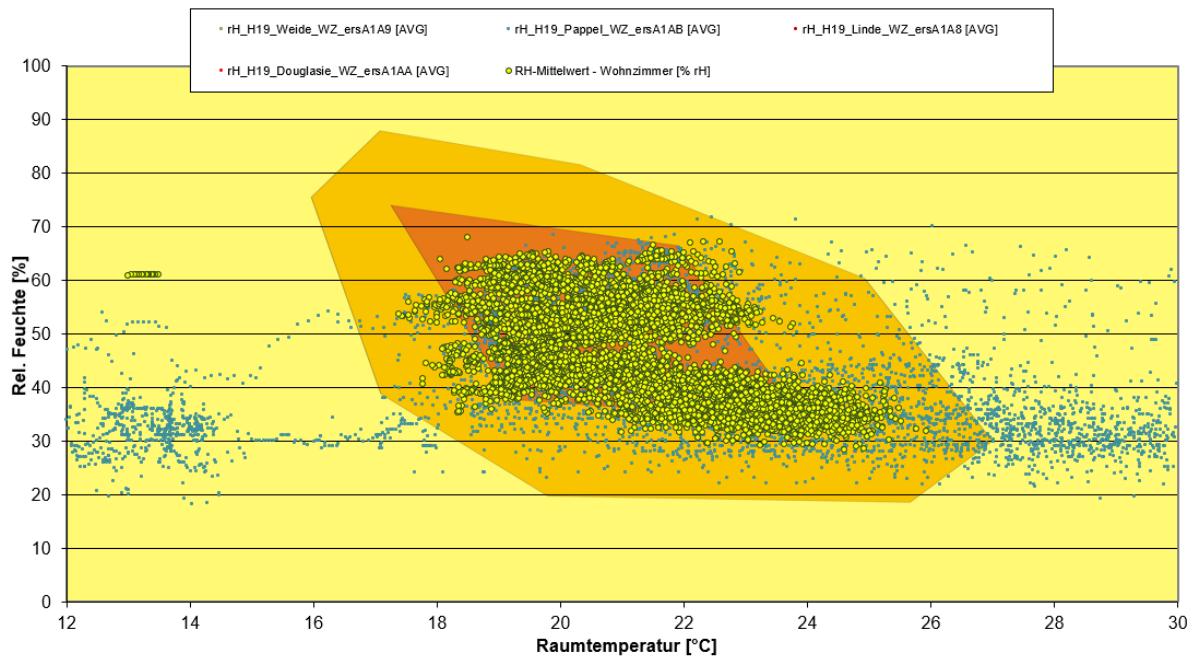
Vor Sanierung:

Abbildung 125: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte

Der mittlere Bereich der relativen Luftfeuchte liegt vor der Sanierung überwiegend zwischen 50 % und 55 %, einzelne Wohnungen weichen jedoch deutlich davon ab. Zwar befand sich die Luftfeuchte meist im unkritischen Bereich, jedoch schwankten die Raumlufttemperaturen in weiten Bereichen.

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 2025.

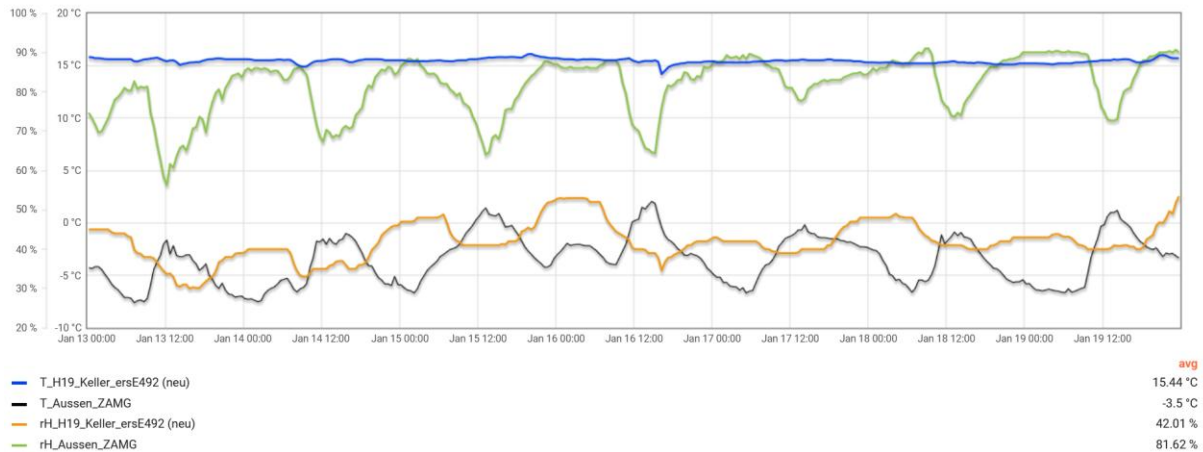


Abbildung 126: Haus 19, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte

Die Kellertemperatur (blaue Linie) bleibt während des gesamten Zeitraums stabil (Durchschnitt: 15,44 °C) – unbeeinflusst von den stark schwankenden Außentemperaturen (schwarze Linie), die zwischen –8 °C und +2 °C liegen. Die Luftfeuchte im Keller schwankt in einem Bereich zwischen 30% und 50% 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 Raumluftfeuchte verfügt. Die geringe relative Feuchte im Keller senkt das Risiko für Schimmelbildung deutlich.

Sommerwoche

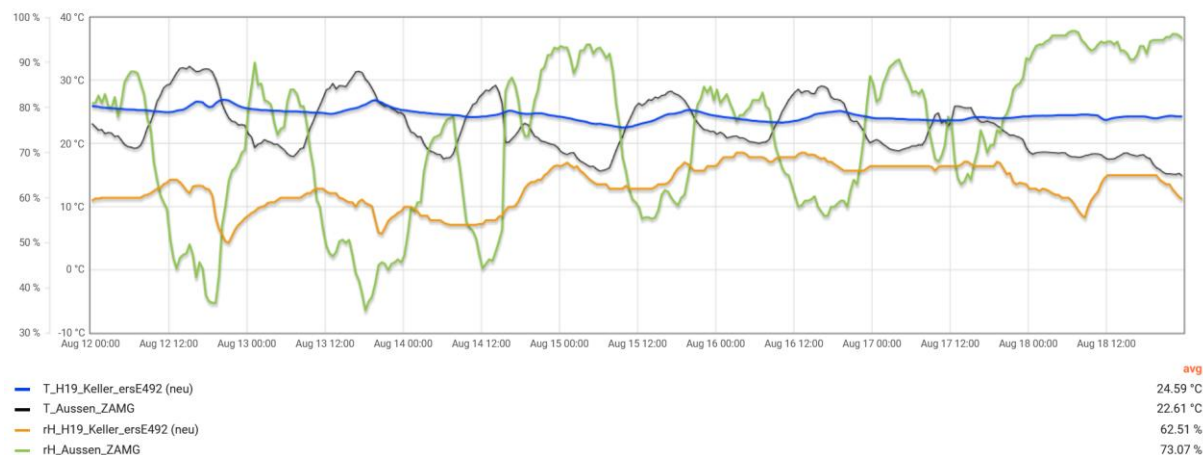


Abbildung 127: Haus 19, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, wärmste Sommerwoche Aug 2024, Halbstundenmittelwerte

Die Grafik zeigt Temperatur- und Feuchteverläufe im Keller von Haus 19 im Vergleich zur Außenluft während der wärmsten Sommerwoche. Die Kellertemperatur ist mit einem Durchschnitt von 24,6°C relativ stabil (blaue Kurve) und liegt damit innerhalb der Schwankungen der Außentemperatur, die im Verlauf der Woche zwischen ca. 15 °C und etwas mehr als 32 °C schwankt (Mittelwert: 22,6 °C).

Die relative Luftfeuchte liegt im Keller konstant zwischen 50 % und 70 %, während die der Außenluft stark schwankt – zwischen 35 % und 95 % (Ø 73 %).

Da alle Außenbauteile sehr gut gedämmt sind, liegen die inneren Oberflächentemperaturen nahe der Raumlufttemperatur. Damit ist das Risiko für Oberflächenkondensation gering. Die begrenzten Schwankungen im Keller belegen erneut eine sehr gute Entkopplung vom Außenklima.

6.1.3 Kohlendioxidgehalt der Luft in den Wohnzimmern

Die folgende Abbildung zeigt den Kohlendioxidgehalt der Raumluft in den Wohnzimmern während des Messzeitraums von Juni 2024 bis Mai 2025.

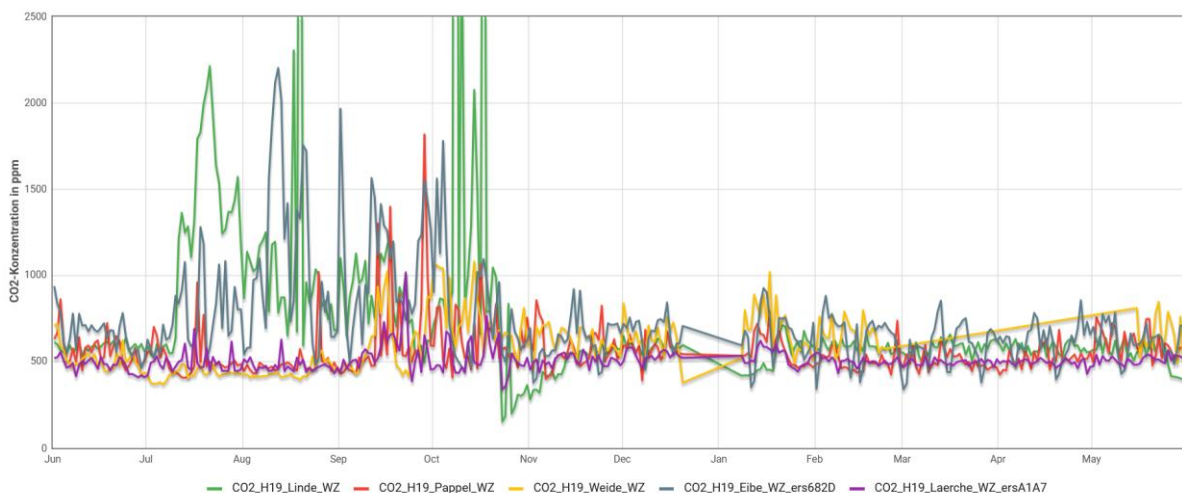


Abbildung 128: Haus 19, CO₂-Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte

Die CO₂-Konzentrationen in den Wohnzimmern liegen über den größten Teil des Jahres in einem Bereich von 500 bis 800 ppm. Von Mitte Juli bis Mitte Oktober treten deutlich höhere

Werte auf, die in der Wohnung Linde kurzfristig auf bis zu 2.500 ppm steigen. Die Gründe für die kurzzeitig hohen CO₂-Konzentrationen konnten bislang nicht geklärt werden.

6.1.4 Kaltwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Kaltwasserverbrauch der Wohnungen.

Tabelle 27: Haus 19, Kaltwasserverbrauch der Wohnungen

Kaltwasserverbrauch	Douglasie	Eibe	Lärche	Linde	Pappel	Weide	Summe/Mittel
in m ³ /Jahr	53,3	26,0	18,7	115,4	116,3	21,2	350,8
in Liter pro Tag	145,9	71,2	51,1	316,2	318,7	58,1	961,2
mittlere Personenzahl	5	1	1	1	1	2	11
Verbrauch pro Person/Tag in Liter	29,2	71,2	51,1	316,2	318,7	29,0	87,4

Der mittlere pro-Kopf-Kaltwasserverbrauch der 6 Wohnungen liegt bei 87,4 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 29 und 319 Liter pro Person und Tag.

6.1.5 Warmwasserverbrauch

Die folgende Tabelle zeigt den Warmwasserverbrauch der Wohnungen.

Tabelle 28: Haus 19, Warmwasserverbrauch der Wohnungen

Warmwasserverbrauch	Douglasie	Eibe	Lärche	Linde	Pappel	Weide	Summe/Mittel
in m ³ /h	14,6	2,6	5,1	17,1	24,4	7,5	71,3
Personen	5	1	1	1	1	2	11
Verbrauch in m ³ pro Person/Jahr	2,9	2,6	5,1	17,1	24,4	3,7	6,5
Verbrauch in Liter pro Person/Tag	8,0	7,2	14,1	46,7	66,9	10,2	17,8

Der jährliche Warmwasserverbrauch in Summe der 6 Wohnungen liegt bei 71,3 m³/a. Bei 11 Bewohnern entspricht dies 17,8 Liter pro Person und Tag.

Zum Vergleich des personenspezifischen Verbrauchs von 17,8 Liter pro Person und Tag 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 13,5 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 5.1.5 aufgeführten Quellen.

Der tägliche pro-Kopf-Verbrauch in den einzelnen Wohnungen liegt im Bereich von 7 l/Tag bis 67 l/Tag.

6.2 Endenergieverbrauch und Funktion der Haustechniksysteme

6.2.1 Endenergieverbrauch gesamt

In nachfolgender Tabelle sind die Messwerte des Endenergieverbrauchs für die Messperiode vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 dargestellt. Wegen des mehrmonatigen Ausfalls der Datenaufzeichnung über die MSR während der Heizperiode werden die Verbräuche für Wärme und Allgemiestrom gemäß der Zähler des Stromversorgers VKW dargestellt. Der Haushaltsstromverbrauch wird als Teil des AEE-Monitorings erfasst.

Tabelle 29: Endenergieverbrauch Haus 19 vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen; Quellen: VKW Zähler für Strom Wärme und Allgemiestrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom

Verbrauch in kWh	VKW Zähler Wärme	VKW Zähler Hilfs- und Allgemiestrom	AEE Zähler Haushaltsstrom	Endenergie _{gesamt}
Jun 24	610	641	792	2 043
Jul 24	534	689	818	2 041
Aug 24	517	522	818	1 857
Sep 24	555	584	792	1 931
Okt 24	980	434	818	2 232
Nov 24	1 645	171	792	2 608
Dez 24	1 818	187	818	2 823
Jan 25	2 735	196	818	3 749
Feb 25	1 655	161	739	2 555
Mar 25	1 916	156	818	2 890
Apr 25	1 015	145	792	1 952
Mai 25	761	160	818	1 739
Summe	14 741	4 046	9 636	28 423
spez. Verbrauch in kWh/(m²_{WNFA})	42,3	11,6	27,6	81,5

Der Endenergieverbrauch_{Heizung+WW} liegt gemäß VKW-Zähler „Wärme“ bei 14.741 kWh/a, dies entspricht 42,3 kWh/(m²_{WNFA}). Eine Rekonstruktion auf Basis der vorhandenen Daten aus der MSR und den VKW-Zählern zeigt, dass ein nicht unbeträchtlicher Teil des Endenergieverbrauchs_{Heizung+WW} – etwa 10 kWh/(m²_{WNFA}) – nicht durch die Wärmepumpe, sondern durch die Heizstäbe verursacht wurde. Die Gründe für diesen unvorhergesehenen Anteil der Heizstäbe sind ohne die MSR-Daten nicht erklärbar.

Der Endenergieverbrauch_{Heizung+WW} liegt vor Allem aufgrund des Betriebs der Heizstäbe um etwa 16 kWh/(m²_{WNFA}) über dem Ergebnis der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung. Gründe für diesen Mehrverbrauch sind in Kapitel 6.2.8 beschrieben, vertiefende Analysen

können erst nach der zweiten Heizperiode auf Basis der hochauflösenden Daten aus der MSR durchgeführt werden.

6.2.2 Energieverbrauch Heizung und Warmwasser

Durch den Ausfall der Siemens-Messdatenerfassung fehlen die Daten zu Leistungsaufnahme und Verbrauch der Wärmepumpe vom 03. Dezember 2024 bis zum 13. März 2025. Der Ausfall ist in folgender Abbildung erkennbar.



Abbildung 129: Haus 19, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte

In der Zeit außerhalb der Heizperiode und außerhalb des Messdatenausfalls der MSR trat kein Stromverbrauch der Heizstäbe auf (hellblaue Linie in der Abbildung), die Wärmeversorgung wurde vollständig von der Wärmepumpe übernommen.

Aus den Monatswerten des Stromversorgers für die Zeit mit Messdatenausfall (Dezember 24 bis März 25) kann geschlossen werden, dass die Heizstäbe während der Heizperiode in Betrieb waren und einen Stromverbrauch von etwa $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ hatten.

6.2.3 Endenergieverbrauch Hilfs- und Allgemeinstrom

Der Allgemeinstromverbrauch im ersten Betriebsjahr nach Sanierung beträgt gemäß VKW-Zähler 4.046 kWh/a – siehe Tabelle 28. Dies entspricht einem spezifischen Verbrauch von $11,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, dies ist ein hoher Wert. Auffällig ist, dass der Verbrauch bis einschließlich Oktober 2024 deutlich höher ist als danach. Dies zeigt auch die folgende Abbildung, die den Verlauf des Allgemeinstromverbrauchs aus dem AEE-Monitoring von August 2024 bis Anfang Mai 2025 zeigt.

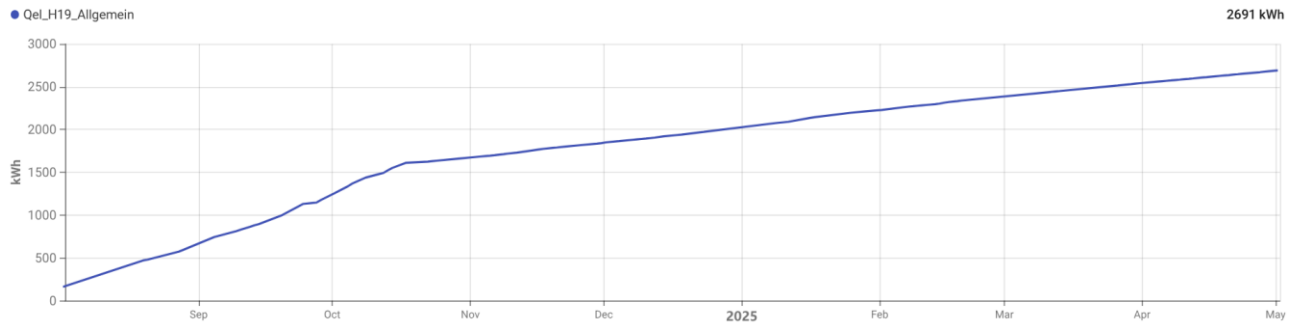


Abbildung 130: Haus 19, Stromverbrauch Allgemein

Während die Tagesverbräuche bis zum 17.10.2024 bei etwa 18 kWh/Tag lagen, sanken sie seit diesem Datum auf etwa 5 bis 6 kWh/Tag. Die Gründe für den anfänglich sehr hohen Allgemeinstromverbrauch und der Auslöser für die deutliche Reduktion Mitte Oktober konnten noch nicht bestimmt werden.

6.2.4 Endenergieverbrauch Haushaltsstrom

Die Haushaltsstromverbräuche der Wohnungen liegen erst ab dem 27.07.24 und damit für etwas mehr als 10 der 12 Monate des Messzeitraums vor. Für die Wohnung Lärche sind die Daten für das gesamte Jahr lückenhaft und nicht belastbar. Die Wohnung wird daher zur Bestimmung des mittleren Haushaltsstromverbrauchs nicht herangezogen.

Für die Wohnung Weide liegen zuverlässige Daten nur für 135 Tage vor, der Jahresverbrauch für diese Wohnung wird aus dem Verbrauch dieser Periode hochgerechnet. Die folgende Abbildung zeigt den aufsteigend sortierten, spezifischen Haushaltsstromverbrauch der 5 betrachteten Wohnungen.

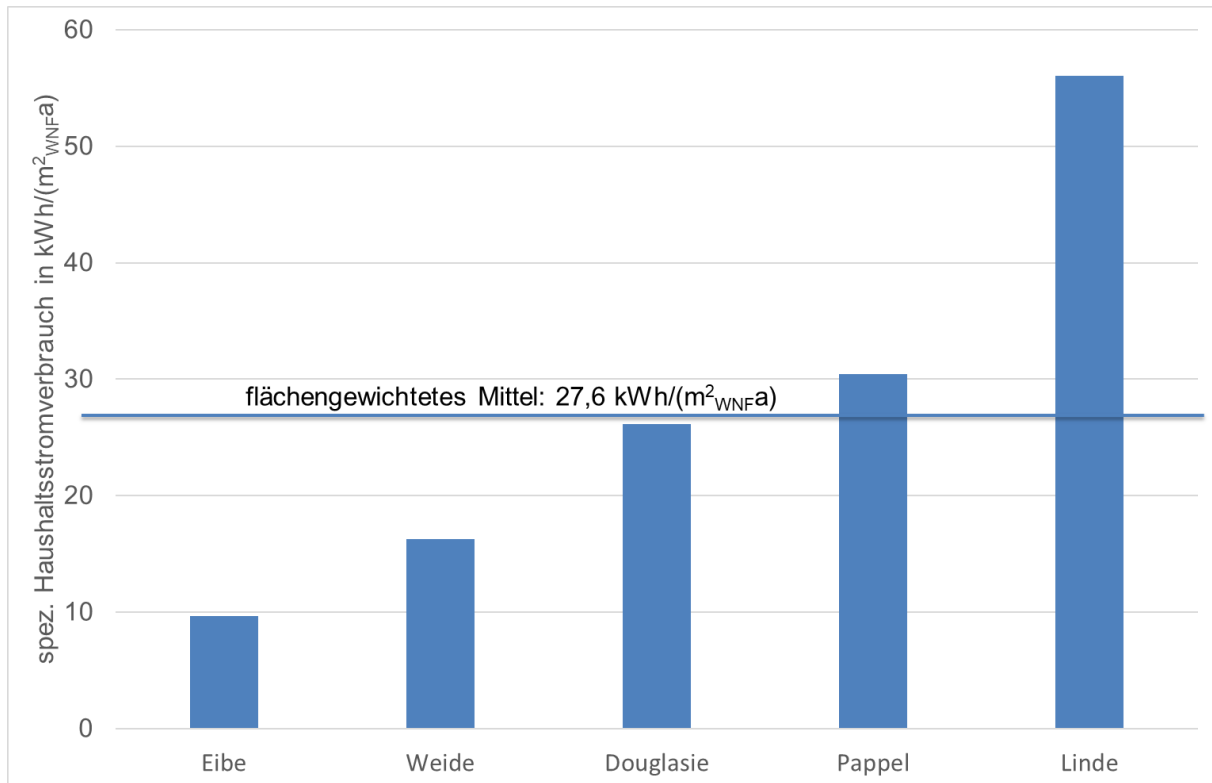


Abbildung 131: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Haushaltsstromverbrauchs der Wohnungen; Haus 19; Zeitraum vom 01. Juni 2024 bis 31. Mai 2025

Der aus den Messwerten der Wohnungen Douglasie, Eibe, Linde und Pappel für 10 Monate und dem Messwert der Wohnung Weide für 5 Monate bestimmte flächenspezifische Haushaltsstromverbrauch beträgt $27,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Dieser Verbrauch liegt um etwa 15% 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 $32,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ (Bittermann, 2018).

Die Werte der 5 berücksichtigten Wohnungen liegen zwischen 9,7 und $56,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Der flächenspezifische Stromverbrauch liegt aufgrund der höheren Belegungsdichte ($31,7 \text{ m}^2$ pro-Kopf-Wohnfläche im Vergleich zu $53,3 \text{ m}^2$) höher als im großen Gebäude.

6.2.5 Heizwärmeverbrauch

Wegen des langfristigen Ausfalls der Siemens-MSR während der Heizperiode liegen keine auswertbaren Daten zum Heizwärmeverbrauch vor. Aus den vorhandenen Daten kann der Heizwärmeverbrauch mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden, siehe Kapitel 6.2.8.

6.2.6 Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme)

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

Tabelle 30: Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme) – Haus 19; Quelle: WMZ Techem

Wärmeverbrauch Warmwasser	Douglasie	Eibe	Lärche	Linde	Pappel	Weide	Summe/Mittel
Jahresverbrauch in kWh/a	457	90	199	665	953	234	2 598
WNF in m ²	72,75	51	33,7	59,25	59,25	72,75	348,7
spez. Verbrauch in kWh/(m ² _{WNF} a)	6,3	1,8	5,9	11,2	16,1	3,2	7,5

Der mittlere Nutzwärmeverbrauch für Warmwasser liegt bei 7,5 kWh/(m²_{WNF}a). Dies ist – analog zum Warmwasserverbrauch in m³ - ein niedriger Wert.

6.2.7 Effizienz der Wärmeerzeugung

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe konnte aufgrund fehlender bzw. unplausibler Daten der Wärmemengenzähler nicht bestimmt werden. Die folgende Abbildung zeigt die fehlerhaften bzw. fehlenden Daten.

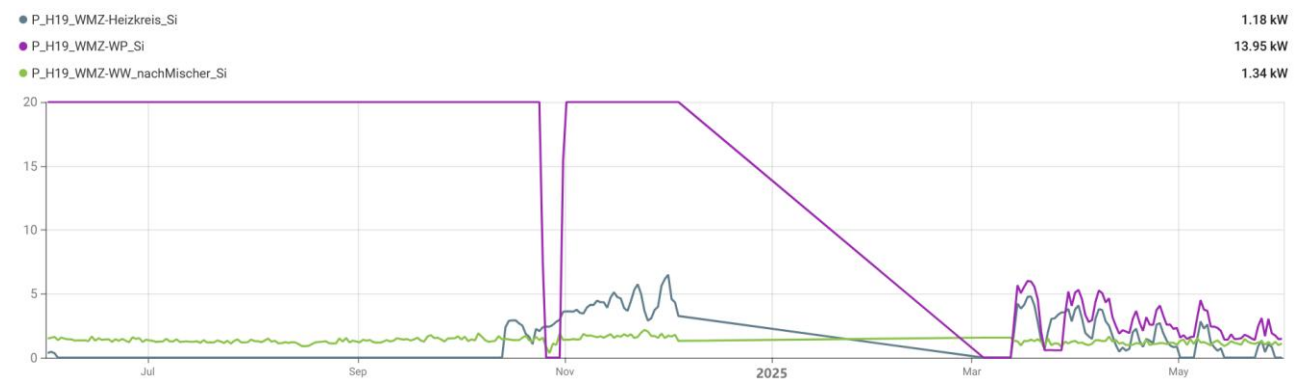


Abbildung 132: Haus 19, Leistungen Heizung sekundärseitig, Juni 2004 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte

Grau: Leistung des Wärmemengenzählers des Heizkreises

Lila: Ausgangsleistung (Wärmeabgabe) der Wärmepumpe

Grün: Leistung des Wärmemengenzählers des Warmwasser-Kreises

Der Wärmemengenzähler des Heizkreises liefert erst seit Oktober und der am Ausgang der Wärmepumpe erst seit Anfang März 2025 plausible Daten. Zu erkennen ist auch der komplette Datenausfall von Dezember bis März.

6.2.8 Lade-, Speicher- und Verteilverluste

Eine Auswertung ist wegen des langfristigen Ausfalls der MSR während der Heizperiode nur mit einer gewissen Unschärfe auf Basis der unvollständigen, zum Teil zeitlich weniger hoch

aufgelösten vorhandenen Daten möglich. Die folgende Abbildung zeigt die Wärme- und Strombilanz des kleinen Gebäudes für das erste Betriebsjahr vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025. Dargestellt werden die folgenden Werte:

- Nutzwärmeverbrauch Warmwasser
- Verteilverluste Warmwasser
- Verluste im Technikraum
- Stromverbrauch Wärmepumpe und Heizstab

Die Werte für die vier Monate mit Messdatenausfall wurden aus Mittelwerten aus anderen plausiblen Perioden ermittelt. Die Gesamtwärmelieferung wurde wie folgt ermittelt:

Gesamtwärmelieferung = Mittelwert Wärmeabgabe Heizstab + ((Wärmepumpenstromverbrauch lt. VKW-Zähler – Mittelwert der Wärmeabgabe Heizstab) * Monatsarbeitszahl WP) aus anderen plausiblen Monaten.

Zur Ermittlung der Werte für die Monate ohne Siemens-Messdaten wurden die Monatsarbeitszahlen der anderen Monate verwendet.

Die Verwendung der Monatsarbeitszahlen der WP auch für die vier Monate ohne Messdaten Siemens ist möglich, da das Gebäude über eine Sole-Wärmepumpe versorgt wird, so dass die Quelltemperatur keinen großen jahreszeitlich Schwankungen unterliegt und da die Speichertemperaturen für Heizung und für Warmwasser ganzjährig bei (zu hohen) 55°C lag.

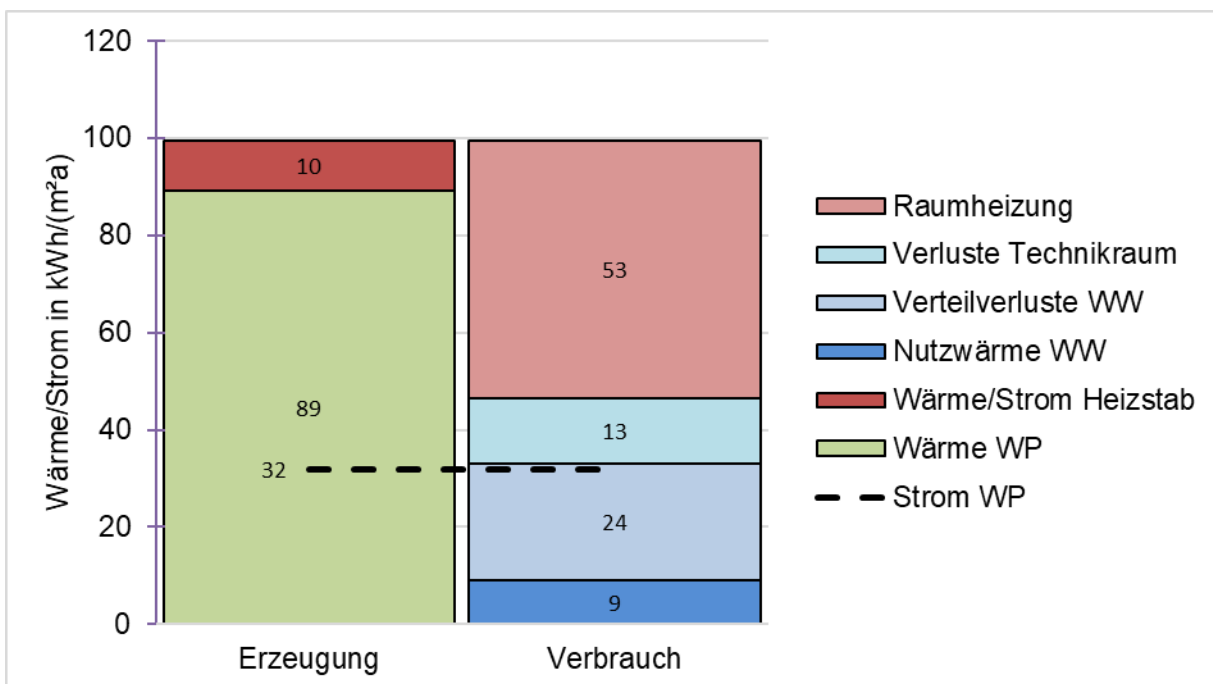


Abbildung 133: Jahresbilanz Wärmeströme und Strom Wärme; Juni 2024 bis Mai 2025

Der Heizwärmeverbrauch liegt bei $53 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ und damit geringfügig höher als in der Verbrauchsprognoseberechnung mit $51,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Die mittlere Raumlufthtemperatur liegt mit $22,9^\circ\text{C}$ etwas höher als die Annahme von $22,5^\circ\text{C}$ in der Verbrauchsprognoseberechnung. Zusätzlich wird etwa $1/3$ der Warmwasser-Verteilverluste in Höhe von $24 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ als nicht regelbarer Beitrag zur Raumheizung genutzt. Der gesamte Wärmeinput zur Raumheizung liegt damit bei etwa $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$, d.h. in einer ähnlichen Größenordnung wie die Verbrauchsprognoseberechnung. Ein Grund für die gute Übereinstimmung ist die sehr gute Ausführungsqualität der Gebäudehülle, die durch den hervorragenden n_{50} -Wert von $0,78\text{h}^{-1}$ im Luftdichtheitstest bestätigt wurde.

Der Nutzwärmeverbrauch des Gebäudes für Warmwasser ist – besonders angesichts der hohen Belegungsdichte - mit etwa $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ niedrig. Die Verteilverluste im Technikraum sind etwas niedriger als im großen Gebäude. Der Wärmeoutput in Summe von Wärmepumpe und Heizstäben liegt bei knapp $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$.

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe liegt bei knapp $32 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Zusätzlich trägt der Heizstab mit ca. $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ zur Wärmebereitstellung bei.

Der Endenergieverbrauch_{Heiz+WW} beträgt damit ca. $42 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$. Dieser Wert liegt um etwa $16 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{WNFA}})$ höher als der Wert der PHPP-Verbrauchsprognose. Ein Grund für den Mehrverbrauch im Vergleich zur Verbrauchsprognose liegt darin, dass die Heizstäbe während der Heizperiode betrieben wurden. Der Grund für diesen ungeplanten Betrieb konnte aufgrund des Datenausfalls nicht geklärt werden.

Ein weiterer Grund liegt in den zu hohen Systemtemperaturen. Eine detaillierte Analyse erfolgt auf Basis der Messwerte des zweiten Betriebsjahrs.

Die folgende Abbildung zeigt den Jahresverlauf der wichtigsten Wärmeströme und des Stromverbrauchs für die Wärmeversorgung in Form von Monatswerten. Auch diese Darstellung beruht auf einer Rekonstruktion aus mehreren Datenquellen.

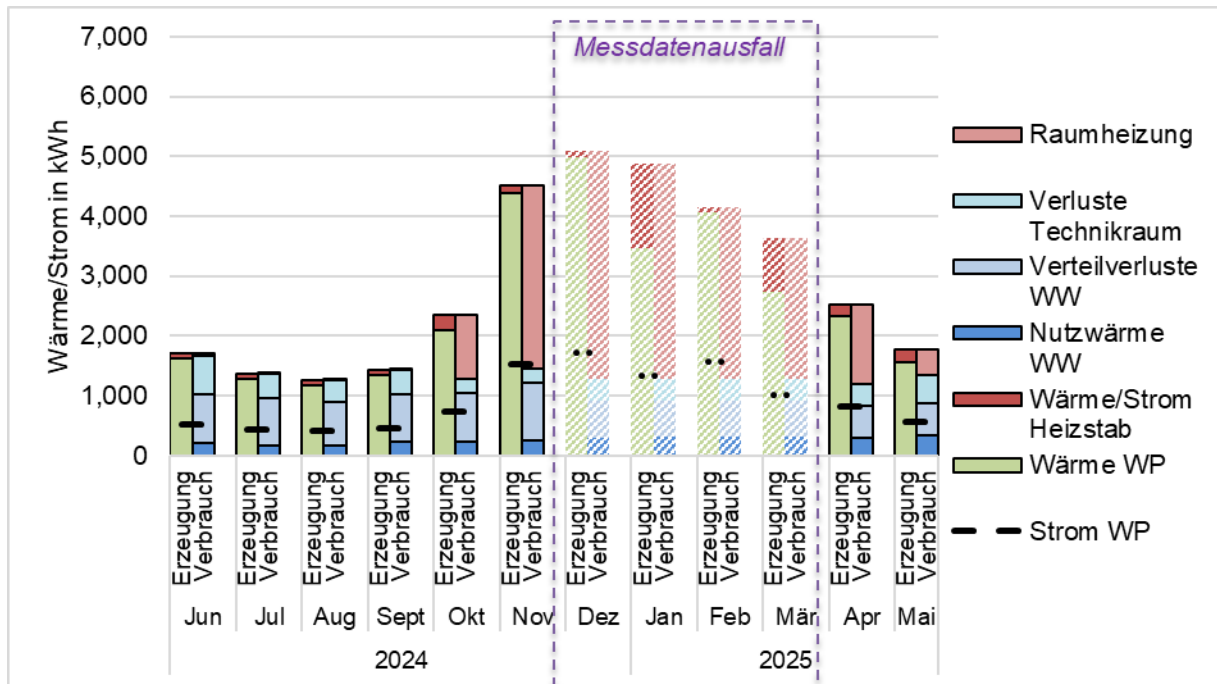


Abbildung 134: Jahresverlauf der Wärmeströme und des Stromverbrauchs für Wärme; Juni 2024 bis Mai 2025; Monatswerte

Aufgrund des Ausfalls der MSR und da auch im Online-Portal des Wärmepumpenherstellers noch keine Daten verfügbar waren, wurden die Monatswerte wie folgt rekonstruiert:

- Stromverbrauch in Summe Wärmepumpe und Heizstab aus Rechnung VKW (Zähler Wärme)
- Annahme konstanter Mittelwerte aus der Testperiode für
 - Nutzwärme Warmwasser
 - Verteilverluste Warmwasser
 - Verteilverluste Technikraum
- Monatsarbeitszahlen WP für den Zeitraum mit MSR-Datenausfall in Anlehnung an ähnliche Monate vor/nach dem Datenausfall
- Wärmemenge gesamt über Heizstab angepasst an Verlauf der Außentemperatur

Unter den beschriebenen Annahmen konnten die Werte für die Wärmemenge Wärmepumpe und Raumheizung abgeschätzt werden.

6.2.9 PV-Stromerzeugung

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

Tabelle 31: Kenndaten und Jahresertrag der PV-Anlage; Haus 19

installierte Leistung	16,2	kW _p
Modulfläche	78	m ²
Orientierung Dachneigung	20° aus Südrichtung Richtung Ost 45°	°
Jahresertrag	19.491	kWh
spez. Jahresertrag	1.203	kWh/kW _p
wohnflächenspezifischer Ertrag	55,9	kWh/m ² _{WNF}
modulflächenspezifischer Ertrag	249,9	kWh/m ² _{Modul}
Ertrag pro m ² überbaute Fläche	98,9	kWh/m ² _{überbaute Fläche}

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

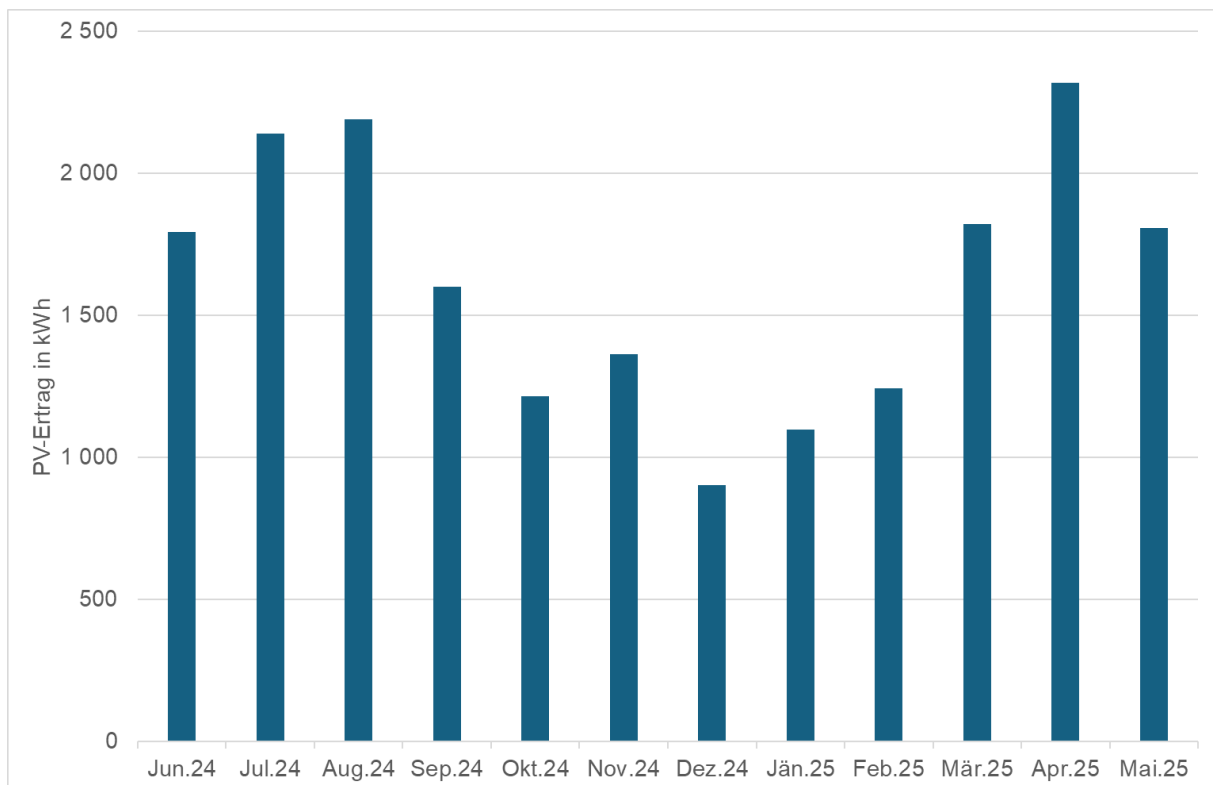


Abbildung 135: Haus 19, PV-Stromerzeugung, Monatswerte; Quelle: online-Plattform Wechselrichterhersteller

Der Jahresertrag der 16,2 kW_p-PV-Anlage lag bei 19.491 kWh/a. Dies entspricht 1.203 kWh/kW_p. Der flächenspezifische Ertrag liegt bei 55,9 kWh/(m²_{WNF}).

Der Jahresertrag ist damit um knapp 16% höher als der Wert gemäß PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung und liegt um 1,3% über dem Berechnungsergebnis des Anlagenanbieters. Grund für den höheren Ertrag ist das höhere Strahlungsangebot – die Globalstrahlung im Messzeitraum lag um 11% höher als die in der PHPP-Berechnung verwendeten Werte gemäß Meteonorm 8.04 für die neuere Periode (Meteonorm Software, 2025).

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

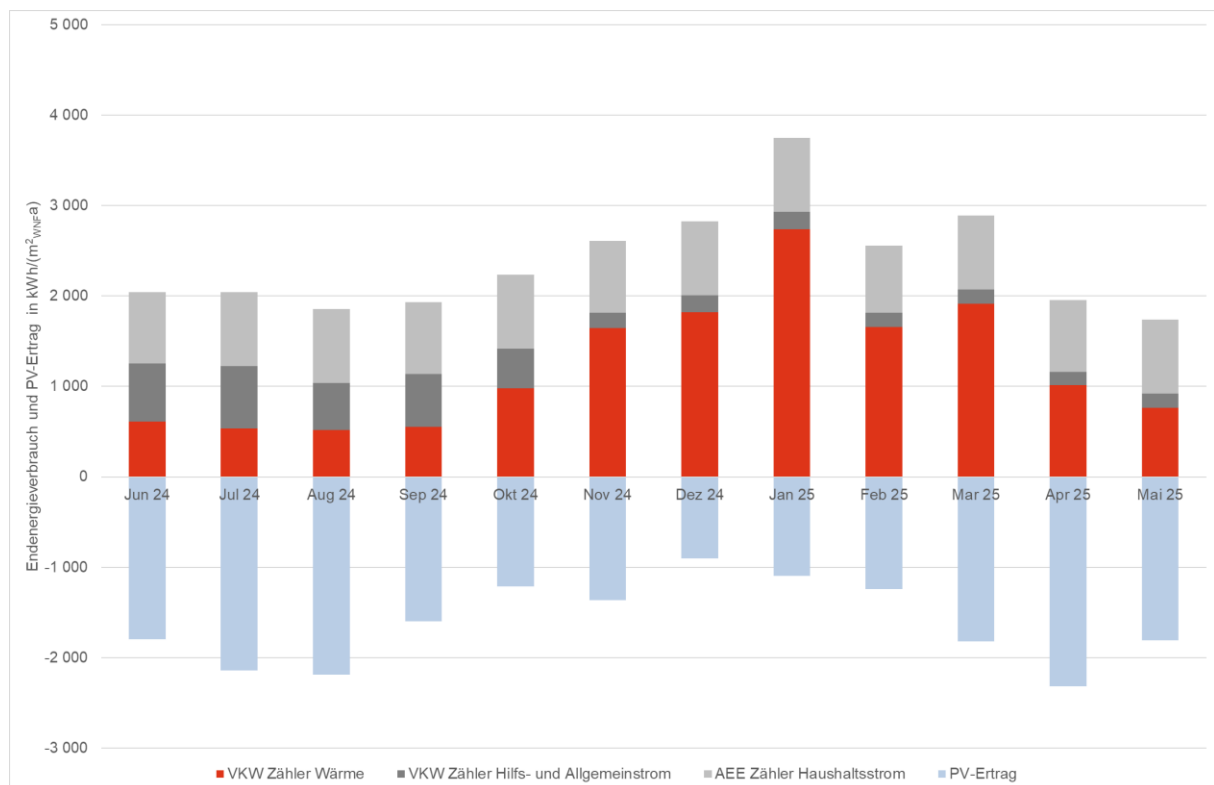


Abbildung 136: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag; Haus 19; Monatswerte

Der flächenspezifische PV-Jahresertrag liegt bei 55,9 kWh/(m²_{WNFA}). Er ist damit höher als der gesamte Endenergieverbrauch der Haustechnik einschließlich des Hilfs- und Allgemeinstromverbrauchs, der bei 53,9 kWh/(m²_{WNFA}) beträgt. Der Gesamt-Endenergieverbrauch liegt bei 81,5 kWh/(m²_{WNFA}).

6.3 Optimierung der Haustechniksysteme im ersten Betriebsjahr

Während des ersten Betriebsjahrs wurden einige Optimierungen am Wärmeversorgungssystem vorgenommen. Auslöser waren entweder Rückmeldungen einzelner Bewohner oder Analysen der Funktion des Wärmeversorgungssystems auf Grundlage der Monitoringdaten. Die wichtigsten Optimierungsmaßnahmen werden nachfolgend beschrieben, aufgrund des Datenausfalls der MSR während der Heizperiode konnte das Betriebsverhalten der Haustechniksysteme noch nicht so detailliert analysiert werden wie für Haus 12a. Daher wurden bislang auch weniger Optimierungen durchgeführt.

6.3.1 Beschwerden der Bewohner

Im Gegensatz zum großen Gebäude gingen keine grundlegenden Beschwerden der Bewohner zur Funktion der Haustechniksysteme ein. Die im ersten Betriebsjahr durchgeführten Optimierungen wurden auf Basis der Monitoringdaten durchgeführt.

6.3.2 Hydraulischer Abgleich Frischwasserstationen

Der hydraulische Abgleich war wie in Haus 12a ausgeschrieben, wurde in Rechnung gestellt und bezahlt. Im Gegensatz zu Haus 12a wurden die bei der Installation eingestellten Werte noch nicht individuell angepasst.

6.3.3 Änderungen Regelungseinstellungen durch Siemens

Einige der in der Siemens-MSR bei Inbetriebnahme hinterlegten Einstellungen entsprachen nicht den geplanten Werten. So waren etwa die Sollwerte der Vorlauftemperatur auf 50°C ab einer Außenlufttemperatur von -10°C und auf 32°C bei 10°C Außenlufttemperatur eingestellt – siehe folgende Abbildung.

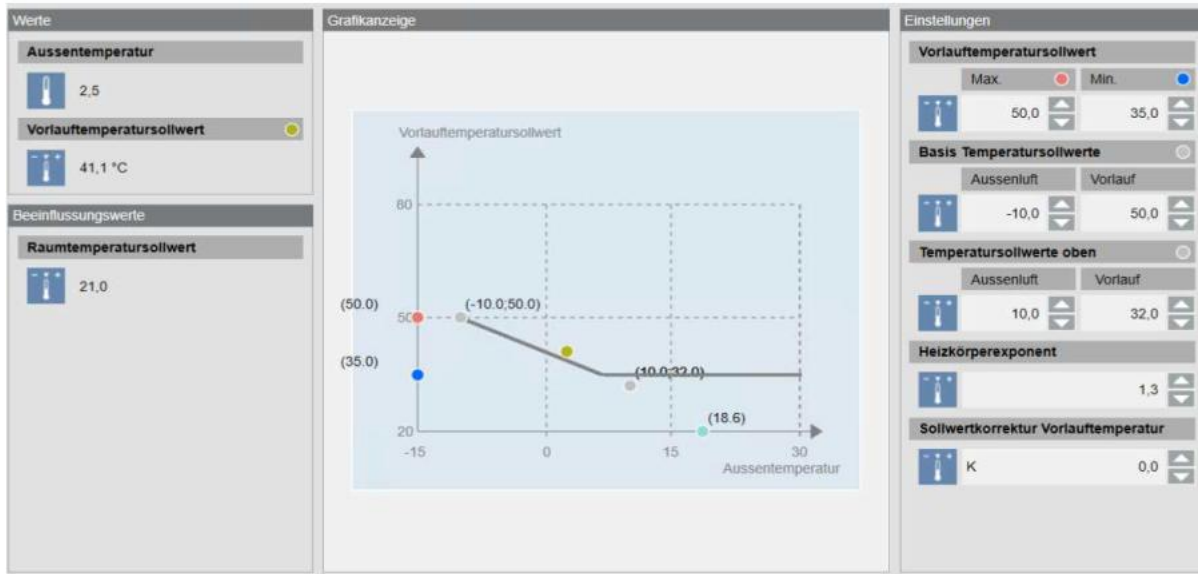


Abbildung 137: Ursprüngliche Einstellungen in der Siemens-MSR

Die Vorgabe für die Vorlauftemperatur ab -10°C Außenlufttemperatur wurde im Mai 2025 auf 38°C statt 50°C geändert. Die Vorgabe von 32°C ab 10°C Außentemperatur blieb unverändert. Die Einstellung für die Heizgrenze verblieb auf 15°C für den Winter (01.09. bis 30.04.) und auf 12° für den Sommer (01.05. bis 31.08.)

Außerdem wurde die in der Planung nicht vorgesehene Nachtabsenkung deaktiviert.

6.3.4 Umbau des Rücklaufs der Frischwasserstationen

Analog zum Vorgehen in Haus 12a wurde die Speicherverrohrung nachträglich – Anfang Juni 2025 - geändert: Der Warmwasser-Rücklauf wurde dabei in den Warmwasser- statt in den Heizungsspeicher eingebunden. Die Gründe für den Umbau und die Schemata vor und nach dem Umbau sind in Kapitel 5.3.4 dargestellt.

Die Auswirkungen der Änderung der Speicherverrohrung sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Temperaturen Heizungsspeicher

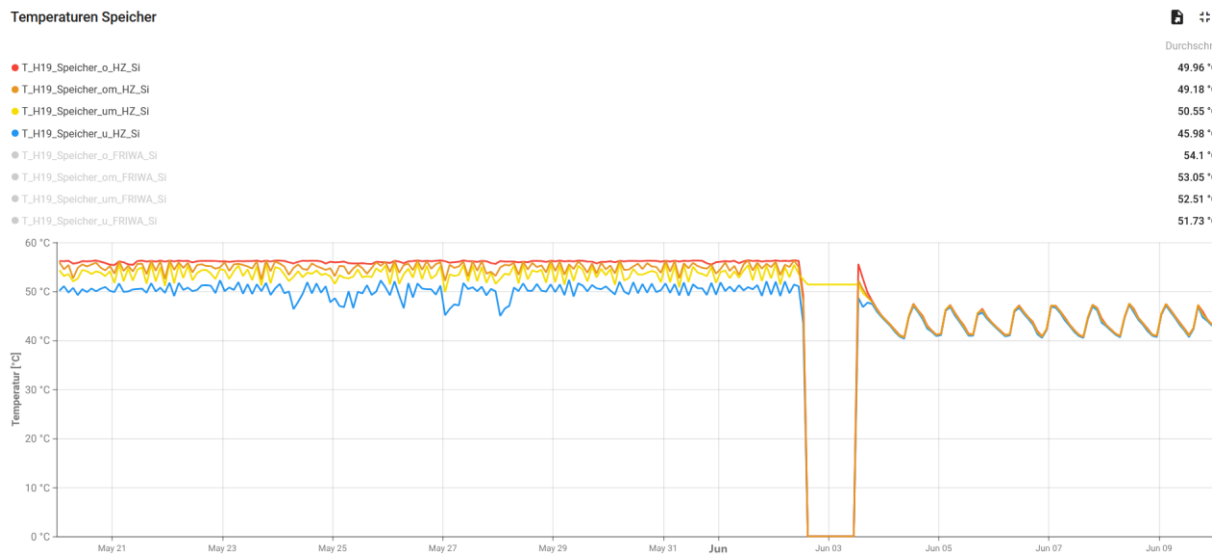


Abbildung 138: Temperaturen im Heizungsspeicher vor und nach Änderung der Speicherverrohrung

Vor dem Umbau der Speicherverrohrung lagen die Temperaturen im Heizungsspeicher zwischen etwa 56°C oben und 50°C unten. Dieses Temperaturniveau ist für den Heizungsspeicher außerhalb der Heizsaison viel zu hoch.

Nach dem Umbau bewegen sich die Speichertemperaturen zwischen 47°C oben und 40°C unten. Anders als vor dem Umbau ist ein Takten zu erkennen, der Speicher wird etwa dreimal täglich beladen. Das Temperaturniveau ist – außerhalb der Heizsaison - weiterhin deutlich zu hoch.

Die Soll-Einstellung für den Warmwasserspeicher läge bei 3-4K über der Vorlauftemperatur der Heizung. Außerhalb der Heizperiode sollte die Speichertemperatur etwa der Temperatur im Aufstellraum entsprechen.

Das regelungstechnische Problem, das zur unnötigen Beladung des Heizungsspeichers außerhalb der Heizperiode führte, konnte erst nach dem Berichtszeitraum gelöst werden. Die Darstellung erfolgt im Monitoringbericht zum zweiten Betriebsjahr nach Sanierung.

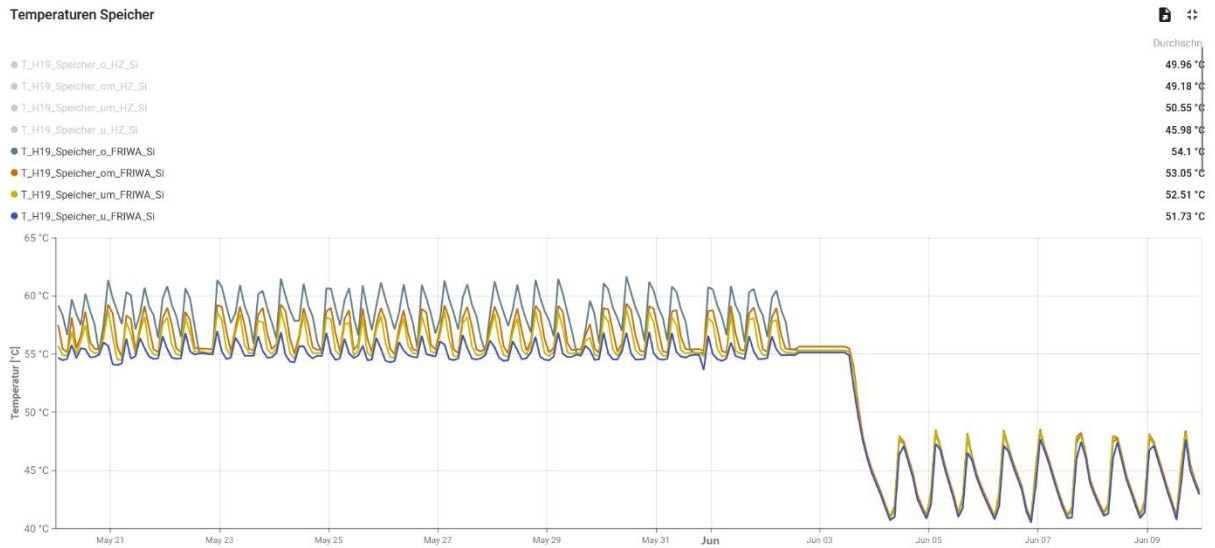


Abbildung 139: Temperaturen im Warmwasserspeicher vor und nach Änderung der Verrohrung

Vor dem Umbau der Speicherverrohrung lagen die Temperaturen im Warmwasserspeicher zwischen etwa 61°C (oben) und 54°C unten. Dieses Temperaturniveau ist unnötig hoch. Nach dem Umbau bewegen sich die Speichertemperaturen zwischen 48°C (oben) und 41°C unten. Der Speicher wird etwa viermal in 24h beladen. Obwohl das Temperaturniveau eher niedrig ist, kam es zu keinen Beschwerden wegen unzureichender Warmwasser-Zapftemperaturen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Endenergieverbrauch Haus 12a vor und nach Sanierung nach Anwendungen.....	5
Abbildung 2: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag; Haus 12a; Monatswerte	6
Abbildung 3: Endenergieverbrauch _{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m ² _{WNFA}) (Ploss M. , 2022), (Ploss, 2024).....	7
Abbildung 4: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufttemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), bereinigt um Neubauprojekte und ergänzt um das Projekt SüdSan groß.....	8
Abbildung 5: Haus 12a, Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer - kälteste Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte.....	9
Abbildung 6: Haus 12a, Raumlufttemperaturen im Wohnzimmer - wärmste Sommerwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte.....	9
Abbildung 7: Endenergieverbrauch Haus 19 vor und nach Sanierung nach Anwendungen.....	11
Abbildung 8: Wärmeströme/Stromverbräuche erstes Betriebsjahr in kWh/(m ² _{WNFA}), kleines Gebäude	12
Abbildung 9: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 24 bis Mai 25, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)	13
Abbildung 10: großes Gebäude vor Sanierung; Fotos: Walser-image.....	21
Abbildung 11: kleines Gebäude vor Sanierung; Fotos: Walser-image.....	21
Abbildung 12: kleines Gebäude nach Sanierung; Fotos: Walser-image.....	21
Abbildung 13: konstruktiver Schnitt, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH.....	23
Abbildung 14: vereinfachtes Haustechnikschema großes Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg	24
Abbildung 15: Schematischer Aufbau der Außenwand mit Bauteilaktivierung und teil-vorgefertigten Holz-Fassadenelementen; Energieinstitut Vorarlberg.....	25
Abbildung 16: konstruktiver Schnitt, ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner GmbH.....	30
Abbildung 17: Vereinfachtes Haustechnikschema, kleines Gebäude; Energieinstitut Vorarlberg.....	31
Abbildung 18: Schematischer Aufbau Messtechnik.....	35
Abbildung 19: Dashboard-Beispiel	36
Abbildung 20: Monitoringschema Haus 12a.....	37
Abbildung 21: Haus 12a, Auszug Messstellenliste Heizung	38
Abbildung 22: Monitoringschema Haus 19	39
Abbildung 23: Haus 19, Auszug Messstellenliste Heizung	40
Abbildung 24: Messschema Gebäude 12a.....	42
Abbildung 25: Messschema Gebäude 19.....	43
Abbildung 26: LoRaWAN Beispielabbildung.....	45
Abbildung 27: Außenlufttemperatur gesamter Zeitraum, Tagesmittelwerte	48
Abbildung 28: Außentemperatur in der wärmsten Sommerwoche; Stundenmittelwerte	48
Abbildung 29: Außenlufttemperaturen kälteste Woche; Stundenmittelwerte	49
Abbildung 30: Solarstrahlung gesamter Zeitraum, Tagesmittelwerte	50
Abbildung 31: Solarstrahlung und Außenlufttemperatur wärmste Sommerwoche, Halbstundenmittelwerte	50
Abbildung 32: Solarstrahlung kälteste Winterwoche, Halbstundenmittelwerte	51
Abbildung 33: Monatsmittelwerte der Außentemperatur in °C und der Solarstrahlung in W/m ²	52

Abbildung 34: aufsteigend sortierte, flächengewichtete Heizperioden-Mittelwerte der Raumlufttemperatur, Haus 12a	54
Abbildung 35: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 24 bis Mai 25, Stundenmittelwerte; (Deutsches Institut für Normung, 1994)	56
Abbildung 36: Haus 12a, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)	56
Abbildung 37: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte	57
Abbildung 38: Außentemperatur während der kältesten Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte	58
Abbildung 39: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste Sommerwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte	59
Abbildung 40: Haus 12a, Wohnzimmer - Temperaturen und Globalstrahlung, wärmster Sommerwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte	60
Abbildung 41: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperatur kälteste Winterwoche vor Sanierung, Stundenmittelwerte	61
Abbildung 42: Haus 12a, Wohnung Ahorn, Wohnzimmer - Temperatur kälteste Winterwoche nach Sanierung, Stundenmittelwerte	61
Abbildung 43: Haus 12a: Messstellen temperaturkritische Räume	62
Abbildung 44: Haus 12a, Ahorn, Raumlufttemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte	63
Abbildung 45: Haus 12a, Birke, Raumlufttemperaturen, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte	63
Abbildung 46: Haus 12a, Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Heizkreises nach dem Mischer und vor den Wohnungsverteiltern	64
Abbildung 47: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Stundenmittelwerte	65
Abbildung 48: Haus 12a, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte	66
Abbildung 49: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte	67
Abbildung 50: Haus 12a, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, wärmste Sommerwoche Aug 2024, Halbstundenmittelwerte	68
Abbildung 51: Haus 12a, CO ₂ -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte	69
Abbildung 52: Haus 12a, CO ₂ -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Winterwoche, 30-Minuten-Mittelwerte	70
Abbildung 53: Haus 12a, CO ₂ -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Sommerwoche, 30-Minuten-Mittelwerte	70
Abbildung 54: Haus 12a, Monatswerte des Endenergieverbrauchs vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; Techem Zähler Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom	74

Abbildung 55: Haus 12a: Messwerte des spezifischer Endenergieverbrauchs vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen im Vergleich zu den Werten des unsanierten Gebäudes mit Infrarotheizung bei verschiedenen mittleren Raumlufthtemperaturen in der Heizperiode	76
Abbildung 56: Monatswerte des Endenergieverbrauchs nach Anwendung; Messwerte nach Sanierung (links), Verbrauchsprognose Bestand vor Sanierung mit 17,9°C mittlerer Raumlufthtemperatur in der Heizperiode; Infrarotheizung sowie el. Warmwasserboiler (rechts)	77
Abbildung 57: Endenergieverbrauch _{gesamt} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m ² _{WNFA}) (Ploss M. , 2024), (Ploss M. , 2022)	78
Abbildung 58: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR	79
Abbildung 59: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Januar 2025, 15-Minuten-Mittelwerte; Quelle: Siemens MSR	79
Abbildung 60: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR	80
Abbildung 61: Endenergieverbrauch _{Heiz+WW} hocheffizienter Mehrfamilienhaus-Sanierungen und Mehrfamilienhaus-Neubauten in kWh/(m ² _{WNFA}); (Ploss M. , 2024), (Ploss M. , 2022)	81
Abbildung 62: Haus 12a, el. Leistung Wärmepumpe, Heizstäbe, Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR	82
Abbildung 63: Haus 12a, el. Leistung Verteilerpumpen und Siemens Regelung Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: Siemens MSR	82
Abbildung 64: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Jahres-Haushaltsstroms der Wohnungen; Haus 12a, 01. Juni 2024 bis 31. Mai 2025	83
Abbildung 65: Vergleich des spezifischen Heizwärmeverbrauchs und der mittleren Heizperioden-Raumlufthtemperatur hocheffizienter Sanierungsprojekte (Großklos, 2023), ergänzt um Projekt SüdSan groß	86
Abbildung 66: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2004 bis Mai 2025; aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem	87
Abbildung 67: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch der Wohnungen Juni 2004 bis Mai 2025 mit räumlicher Zuordnung; aufsteigend sortiert; Quelle: Zähler Techem	88
Abbildung 68: Haus 12a, spezifischer Heizwärmeverbrauch Juni 2024 bis Mai 2025, Monatswerte; Quelle: Zähler Techem	89
Abbildung 69: Haus 12a, Leistungen modulierende Luft-Wärmepumpe und Heizstäbe, Juni 2004 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte; Quelle: MSR Siemens; violett: Wärmeabgabe Wärmepumpe; dunkelblau: el. Leistung Wärmepumpe; hellblau: el. Leistung Heizstäbe	90
Abbildung 70: Temperaturverlauf Pufferspeiche Heizung, FBH- VL und RL und Heizleistung der FBH Heizsaison 2024/2025 und Kalte Winterwoche Jänner 2025; Quelle: Heizung- Haus 12a	93
Abbildung 71: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); 01. Juni 2024 bis 31.05.25; Tagesmittelwerte	94
Abbildung 72: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); kälteste Winterwoche; 30-Minutenwerte	95
Abbildung 73: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); kältester Wintertag; 5-Minutenwerte	95
Abbildung 74: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); wärmste Sommerwoche; 30-Minutenwerte	96

Abbildung 75: Temperaturverlauf VL und RL ab Wärmepumpe (zwischen WP und Speicher); wärmster Sommertag; 5-Minutenwerte.....	96
Abbildung 76: Verrohrung im Heizungskeller, Haus 12a; Foto: Planungsteam E-Plus.....	97
Abbildung 77: Verrohrung Heizungspumpe im Heizungskeller, Haus12a; Foto: Planungsteam E-Plus.....	98
Abbildung 78: Fehlstellen in der Leitungsdämmung, Haus 12a; Fotos: Planungsteam E-Plus.....	98
Abbildung 79: lückenlose Leitungsdämmung in Vergleichsprojekt; Fotos: Planungsteam E-Plus.....	99
Abbildung 80: lückenlose Rohrdämmung in Vergleichsprojekt; Foto: Planungsteam E-Plus.....	100
Abbildung 81: Haus 12a, Wärmeverteilung - Verluste.....	101
Abbildung 82: Haus 12a, Heizungskeller, Lade,- Speicher- und Verteilverluste in Prozent.....	102
Abbildung 83: Haus 12a, Leistungen, Temperaturen und Durchflüsse der Warmwasserbereitung in der Zapffreien Zeit; Quelle: SüdSan Warmwasser MJ1_15m.....	103
Abbildung 84: Haus 12a, PV-Stromerzeugung, Monatswerte; Quelle: online-Portal Wechselrichterhersteller....	106
Abbildung 85: Jährliche Stromerzeugung der einzelnen Solarmodule; Haus 12a.....	107
Abbildung 86: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag; Haus 12a; Monatswerte.....	107
Abbildung 87: Messwerte kritische Räume im EG (Schlafzimmer Nord neben Treppenhaus).....	111
Abbildung 88: Messwerte der Raumlufttemperaturen Top 4 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – mit Darstellung der Außentemperatur. Datenquelle: Siemens MSR.....	112
Abbildung 89: Messwerte der Raumlufttemperaturen Top 4 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – ohne Darstellung der Außentemperatur. Datenquelle: Siemens MSR.....	113
Abbildung 90: Raumlufttemperaturen in Wohnung Tanne vom 19.11. bis zum 26.11. mit Darstellung der Außenlufttemperatur; Quelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019).....	114
Abbildung 91: Raumlufttemperaturen in Wohnung Tanne vom 19.11. bis zum 26.11. ohne Darstellung der Außenlufttemperatur; Quelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019).....	115
Abbildung 92: Messwerte der Raumlufttemperaturen in der Wohnung Tanne, Schlafzimmer 1 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – ohne Darstellung der Außentemperatur. Datenquelle: Siemens MSR.....	116
Abbildung 93: Raumlufttemperaturen Wohnung Tanne, Schlafzimmer 1 vom 19.11. bis zum 26.11.24 – ohne Darstellung der Außentemperatur. Datenquelle: Dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019).....	117
Abbildung 94: Energiebilanz Wohnung Tanne, Schlafzimmer 1 vom 19.11. bis zum 26.11.; Datenquelle: Dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019).....	118
Abbildung 95: <i>Verlauf der Vorlaufttemperaturen vom 19.11. bis zum 26.11.24; Datenquelle: MSR Siemens</i>	119
Abbildung 96: Verlauf der Vorlaufttemperaturen vom 19.11. bis zum 26.11.; Datenquelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; Klimadatensatz Bludenz (Meteonorm 8.0.4, Neue Periode, d.h. Temperaturdaten 2000 bis 2019).....	120
Abbildung 97: Messwerte der Vorlaufttemperatur vom 19.11. bis zum 26.11.24 in Abhängigkeit von der Außentemperatur; Datenquelle: MSR Siemens.....	121
Abbildung 98: Messwerte der Vorlaufttemperatur vom 19.11. bis zum 26.11.24 in Abhängigkeit von der Außentemperatur; ohne Darstellung der Zeiträume mit Nachtabsenkung; Datenquelle: MSR Siemens.....	122

Abbildung 99: Vorlauftemperatur vom 19.11. bis zum 26.11. in Abhängigkeit von der Außentemperatur; Datenquelle: dynamische Gebäudesimulation Energieinstitut Vorarlberg; eine Nachtabsenkung ist in der Simulation nicht vorgesehen	123
Abbildung 100: Heizkurve als Ergebnis der Simulation	123
Abbildung 101: Heizkurve und weitere Regelungseinstellungen, Haus 12; Quelle: Siemens Navigator	124
Abbildung 102: Verlauf der Leistungsaufnahme vom 17. bis zum 21. November 2024.....	126
Abbildung 103: Ansicht der Frischwasserstation (Zeichnung des Herstellers)	127
Abbildung 104: Foto der Frischwasserstation im eingebauten Zustand, ohne Geräteabdeckung	127
Abbildung 105: Einregulierung des Strangdurchlaufregulierventils, Einregulierung des Bypass-Ventils und Temperatur-Anzeige am Bypass-Ventil; Fotos: Energieinstitut Vorarlberg).....	128
Abbildung 106: Erläuterung der Funktionsweise und der Temperaturen für das System "Vorlaufzirkulation"; Skizze: Planungsteam E-Plus	130
Abbildung 107: Schema der Einbindung der Speicher vor der Änderung der Einbindung des Warmwasser-Rücklaufs.....	132
Abbildung 108: Schema der Einbindung der Speicher nach der Änderung der Einbindung des Warmwasser-Rücklaufs.....	133
Abbildung 109: Haus12a, WW-Speicher vor Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6.Januar 2025, Viertelstundenmittelwerte	134
Abbildung 110: Haus12a, WW-Speicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6. Mai 2025, Viertelstundenmittelwerte	135
Abbildung 111: Haus12a, WW-Speicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6. November 2025, Viertelstundenmittelwerte	136
Abbildung 112: Haus12a, Heizungsspeicher vor Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6.Januar 2025, Viertelstundenmittelwerte	137
Abbildung 113: Haus12a, Heizungsspeicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, 6.November 2025, Viertelstundenmittelwerte	138
Abbildung 114: Haus12a, Heizungsspeicher nach Umbau Rücklauf Frischwasserstationen, Augustwoche 2025, Halbstundenmittelwerte	139
Abbildung 115: Leistungsaufnahme Wärmepumpe und el. Heizstäbe vom 08.03.25 bis zum 31.05.25; Haus 12a; Quelle: Siemens-MSR; 5-Stundenmittelwerte	140
Abbildung 116: Temperaturverläufe im Heizungsspeicher in vier Höhen vom 08.03.25 bis zum 31.05.25; Haus 12a; Quelle: Siemens-MSR; 5-Stundenmittelwerte	140
Abbildung 117: Temperaturverläufe im Warmwasserspeicher in vier Höhen vom 08.03.25 bis zum 31.05.25; Haus 12a; Quelle: Siemens-MSR; 5-Stundenmittelwerte	141
Abbildung 118: Aufsteigend sortierte, flächengewichtete Heizperioden-Mittelwerte der Raumlufttemperatur, Haus 19	144
Abbildung 119: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 24 bis Mai 25, Stundenmittelwerte (Deutsches Institut für Normung, 1994)	145
Abbildung 120: Haus 19, Raumtemperaturkomfort in den Wohnzimmern, September 22 bis Mai 23, Stundenmittelwerte; Messwerte und Bereiche operativer Raumlufttemperaturen (Deutsches Institut für Normung, 1994).....	146
Abbildung 121: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche vor Sanierung, Halbstundenmittelwerte	147

Abbildung 122: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen kälteste Winterwoche nach Sanierung, Halbstundenmittelwerte	148
Abbildung 123: Haus 19, Wohnzimmer - Temperaturen wärmste Sommerwoche nach Sanierung, Halbstundenmittelwerte	149
Abbildung 124: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Stundenmittelwerte	150
Abbildung 125: Haus 19, rel. Feuchte zu Raumlufttemperatur, Wohnzimmer, September 2022 bis Mai 2023, Stundenmittelwerte	151
Abbildung 126: Haus 19, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, kälteste Winterwoche Jan 2025, Halbstundenmittelwerte	152
Abbildung 127: Haus 19, Raumlufttemperatur und rel. Feuchte im Keller, wärmste Sommerwoche Aug 2024, Halbstundenmittelwerte	152
Abbildung 128: Haus 19, CO ₂ -Konzentration in der Raumluft, Wohnzimmer, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte	153
Abbildung 129: Haus 19, el. Leistung Wärmepumpe, Juni 2024 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte	156
Abbildung 130: Haus 19, Stromverbrauch Allgemein	157
Abbildung 131: aufsteigend sortierte, flächenspezifische Werte des Haushaltsstromverbrauchs der Wohnungen; Haus 19; Zeitraum vom 01. Juni 2024 bis 31. Mai 2025.....	158
Abbildung 132: Haus 19, Leistungen Heizung sekundärseitig, Juni 2004 bis Mai 2025, Tagesmittelwerte	159
Abbildung 133: Jahresbilanz Wärmeströme und Strom Wärme; Juni 2024 bis Mai 2025	160
Abbildung 134: Jahresverlauf der Wärmeströme und des Stromverbrauchs für Wärme; Juni 2024 bis Mai 2025; Monatswerte	162
Abbildung 135: Haus 19, PV-Stromerzeugung, Monatswerte; Quelle: online-Plattform Wechselrichterhersteller	163
Abbildung 136: Endenergieverbrauch nach Anwendung und PV-Stromertrag; Haus 19; Monatswerte	164
Abbildung 137: Ursprüngliche Einstellungen in der Siemens-MSR	166
Abbildung 138: Temperaturen im Heizungsspeicher vor und nach Änderung der Speicherverrohrung	167
Abbildung 139: Temperaturen im Warmwasserspeicher vor und nach Änderung der Verrohrung	168

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kenndaten der beiden Mustergebäude vor und nach Sanierung	20
Tabelle 2: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle – großes Gebäude	22
Tabelle 3: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle – großes Gebäude	26
Tabelle 4: Energiekennwerte PHPP mit Standard-Randbedingungen und als Verbrauchsprognoseberechnung .	27
Tabelle 5: Energierelevante Kennwerte der Gebäudehülle – kleines Gebäude	29
Tabelle 6: Energierelevante Kennwerte der Haustechniksysteme – kleines Gebäude.....	32
Tabelle 7: Energiekennwerte PHPP mit Standard-Randbedingungen und als Verbrauchsprognoseberechnung .	33
Tabelle 8: Vergleich der Monatswerte der gemessenen Außenlufttemperatur mit den Werten nach Meteonorm v8.04 (Meteonorm Software, 2025).....	49
Tabelle 9: Vergleich der Monatsmittelwerte der Globalstrahlung mit den Werten nach Meteonorm 8.0.4 (Meteonorm Software, 2025).....	51
Tabelle 10: Haus 12a, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen pro Wohnung (Juni 2024 – Mai 2025)	53
Tabelle 11: Haus 12a, Kaltwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen	71
Tabelle 12: Haus 12a, Warmwasserverbrauch der einzelnen Wohnungen	71
Tabelle 13: spez. Warmwasser-Bedarf (60°C) gemäß unterschiedlicher Quellen (Hasper, 2015).....	72
Tabelle 14: Haus 12a, Endenergieverbrauch Haus 12a vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen; Quellen: Siemens Zähler für Haustechnik; VKW Zähler Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom	73
Tabelle 15: spezifischer Endenergieverbrauch 01.06.2024 bis 31.05.2025 nach Anwendungen – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung, Haus 12a,	74
Tabelle 16: Haus 12a, spezifischer Endenergieverbrauch 01.06.2024 bis 31.05.2025 nach Anwendungen – Monitoringwerte im Vergleich zu den Werten der PHPP-Verbrauchsprognoseberechnung und zu den Werten der korrigierten Verbrauchsprognoseberechnung.....	75
Tabelle 17: Haus 12a – Monatswerte des spezifischen Heizwärmeverbrauchs der Wohnungen, Juni 2004 bis Mai 2025; Quelle: Zähler Techem	84
Tabelle 18: Haus 12a – Jahres- Warmwasserverbrauch und spezifischer Warmwasserverbrauch und Verteilverluste Juni 2004 bis Mai 2025; Quelle: SüdSan Warmwasser MJ1_15m	89
Tabelle 19: Monats- und Jahresarbeitszahl der Wärmeerzeugung (Wärmepumpe + Heizstäbe).....	91
Tabelle 20: Monatswerte der Wärmeabgabe und des Stromverbrauchs der Wärmepumpe und der Heizstäbe; Haus 12a	92
Tabelle 21: Wärmebilanz der Wärmespeicher Haus 12a; 01.06.2024 bis 31.05.2025	97
Tabelle 22: Haus12a, Wärmeströme	101
Tabelle 23: Angaben zur Höhe der Warmwasser-Verteilverluste	104
Tabelle 24: Kennzahlen und Ertrag der PV-Anlage; Haus 12a.....	105
Tabelle 25: Vorgaben für die Einstellungen der Heizkurve in der Siemens MSR	124
Tabelle 26: Haus 19, flächengewichtete Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen pro Wohnung (Juni 2024 – Mai 2025)	144
Tabelle 27: Haus 19, Kaltwasserverbrauch der Wohnungen.....	154
Tabelle 28: Haus 19, Warmwasserverbrauch der Wohnungen	154
Tabelle 29: Endenergieverbrauch Haus 19 vom 01.06.2024 bis zum 31.05.2025 nach Anwendungen; Quellen: VKW Zähler für Strom Wärme und Allgemeinstrom; AEE-Zähler für Haushaltsstrom	155

Tabelle 30: Wärmeverbrauch Warmwasser (Nutzwärme) – Haus 19; Quelle: WMZ Techem	159
Tabelle 31: Kenndaten und Jahresertrag der PV-Anlage; Haus 19	163

Literaturverzeichnis

- Bittermann, W. (2018). *Strom- und Gastagebücher 2008/2012/2016 - Projektbericht*. 2018: Statistik Austria.
- Deutsches Institut für Normung. (1994). *DIN 1946-2 - Raumlufttechnik 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.
- Jähmig, 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.meteororm.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, Raumluftqualität, 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.
- 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